

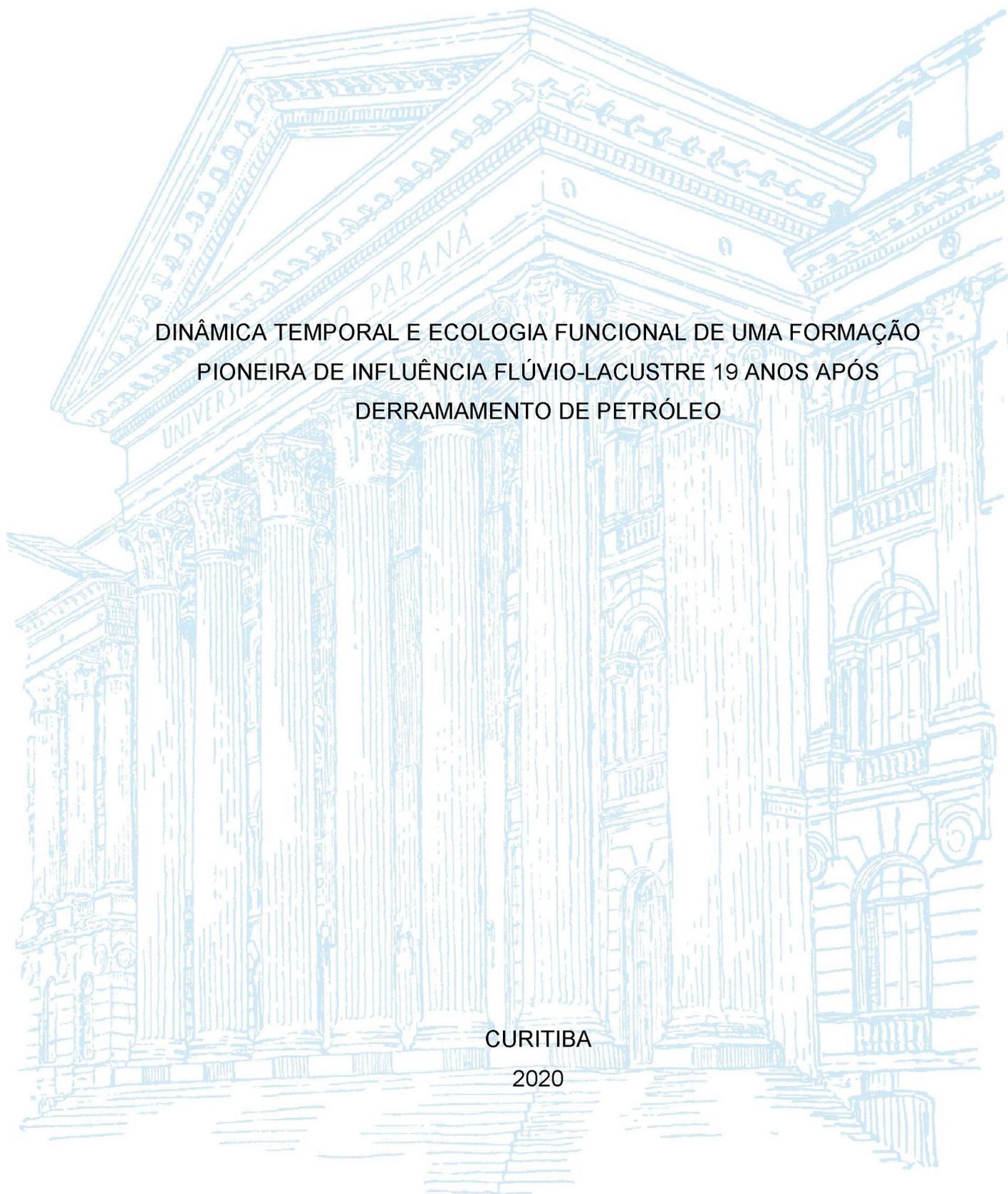
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA PASCHOAL DA SILVA SOUSA

DINÂMICA TEMPORAL E ECOLOGIA FUNCIONAL DE UMA FORMAÇÃO
PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE 19 ANOS APÓS
DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO

CURITIBA

2020



RENATA PASCHOAL DA SILVA SOUSA

DINÂMICA TEMPORAL E ECOLOGIA FUNCIONAL DE UMA FORMAÇÃO
PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE 19 ANOS APÓS
DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Christopher Thomas Blum.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Bergmann Carlucci.

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Sousa, Renata Paschoal da Silva

Dinâmica temporal e ecologia funcional de uma formação pioneira de influência flúvio-lacustre 19 anos após derramamento de petróleo / Renata Paschoal da Silva Sousa. - Curitiba, 2020.

84 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Christopher Thomas Blum

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Bergmann Carlucci

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 06/11/2020.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Comunidades vegetais - Araucária (PR) - Efeito do derramamento de óleo. 2. Sucessão ecológica - Efeito do derramamento de óleo. 3. Petróleo. 4. Derramamento de óleo - Araucária (PR)). 5. Teses. I. Blum, Christopher Thomas. II. Carlucci, Marcos Bergmann. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.182(816.2)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **RENATA PASCHOAL DA SILVA SOUSA** intitulada: **DINÂMICA TEMPORAL E ECOLOGIA FUNCIONAL DE UMA FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE 19 ANOS APÓS DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO**, sob orientação do Prof. Dr. CHRISTOPHER THOMAS BLUM, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Novembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

09/11/2020 10:16:24.0

CHRISTOPHER THOMAS BLUM

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

09/11/2020 11:05:23.0

CARINA KOZERA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - SETOR PALOTINA)

Assinatura Eletrônica

09/11/2020 10:30:52.0

VINICIUS MARCILIO DA SILVA

Avaliador Externo (COLÉGIO MILITAR DE CURITIBA)

Às rosas da minha vida: **Mãe e Pai**, por quem todo o esforço vale a pena.
Aos meus sobrinhos, **Isabella, Robson e Thayssa**.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo seu incondicional amor, capaz de me proporcionar forças inexplicáveis do início ao final deste ciclo.

Aos meus Pais, Antonio Rodrigues de Sousa e Rozelita Maria da Silva Sousa, que mesmo distantes fisicamente estão presentes em todos os momentos, emanando amor, força e fé. Obrigada por cada sementinha plantada em meu coração, por meio dos mais simples gestos durante os anos que tive a dádiva de dividir cada dia com vocês, e obrigada pela confiança.

À minha irmã, Rosely da Silva Sousa, minha segunda Mãe. Obrigada por ser a minha força e por todo o amor e cuidado. Aos meus irmãos Adilson, Ailson, Ezequiel, Robson e Rogério, a quem amo profundamente.

À Universidade Federal do Paraná, por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de ingressar no programa e desenvolver esta pesquisa. Aos professores do PPGEF por compartilharem uma das maiores riquezas que podemos adquirir: O conhecimento! Seus ensinamentos foram fundamentais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

À Petróleo Brasileiro SA – PETROBRAS e à Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis – ANP por proporcionarem apoio financeiro concedido no âmbito do Projeto de pesquisa & desenvolvimento 2015/00434-6.

À equipe do SMS/REPAR pelo apoio logístico e viabilização de acesso à área de estudo.

Ao meu comitê de orientação, Christopher Thomas Blum e Marcos Bergmann Carlucci, pelas contribuições, apoio e paciência durante esse processo de aprendizado. Em especial ao meu orientador Christopher, por quem tenho profunda admiração e a quem sou imensamente grata pelo acolhimento e cuidado desde o início, pela compreensão e pela sua imensa generosidade em partilhar conhecimento de forma tão humana. Um exemplo de profissional e ser humano a ser seguido. Muito obrigada!

À todos que participaram diretamente e doaram seu tempo, contribuindo nas etapas de desenvolvimento deste projeto: Professor Christopher, Professor Roderjan, Edilaine, Renann, Hauane, Kyvia, Felipe e Diego. Sem vocês não seria

possível! Agradeço de forma especial à Edilaine, que esteve presente em todos os momentos, tanto em campo, como em laboratório. Muito obrigada por todo o apoio e generosidade, e também por ter se tornado uma grande amiga.

À banca avaliadora, composta pela Professora Carina Kozera e pelo Professor Vinicius Marcilio, pelas considerações e contribuições no enriquecimento e conclusão do trabalho final.

Aos meus amigos, que mesmo distante foram fundamentais durante esta etapa da minha vida, em especial ao Wendelo e a Paula, pelo companheirismo, pelo incentivo, amor e todo o carinho. Ao Wendelo também pela contribuição nessa dissertação.

À todas as pessoas incríveis que tive a oportunidade de conhecer e de criar laços durante o mestrado, com as quais pude dividir muitos momentos e que foram capazes de tornar meus dias mais leves e felizes: grupo “Entrevero Restrito”, vocês são extremamente especiais. E aos componentes da “Casa Amarela”, com quem dividi o dia a dia e as rotinas de casa e que se tornaram minha família em Curitiba: Clebson, Diego, Iací e Jorge. Muito obrigada por todo o companheirismo, pelo cuidado e pelas trocas e aprendizados que pude ter com vocês. Agradeço ainda ao Maycon, por todo o carinho e pela amizade. E à nossa querida Yoyo (Yoshiko), grande anfitriã da “Casa Amarela”, que me acolheu com todo o seu amor e carinho, um lindo ser de luz e imenso coração.

À todos que direta ou indiretamente tiveram sua parcela de contribuição para que este momento fosse possível. Obrigada!

RESUMO

O petróleo é um importante recurso natural e uma das principais fontes de energia. No entanto, a indústria petrolífera é um setor marcado por impactos ambientais e sociais negativos. Dentre os acidentes envolvendo derramamento de petróleo no Brasil no início do século XXI, um dos mais graves foi o vazamento que ocorreu na Refinaria Presidente Getúlio Vargas, em 2000, no município de Araucária, PR, afetando severamente os ecossistemas atingidos. Diversos estudos foram desenvolvidos nas áreas afetadas, porém, pouco se sabe sobre os efeitos ocasionados à vegetação em ambientes onde esse tipo de contaminante permanece por longos períodos. O presente trabalho teve como objetivo estudar uma comunidade vegetal de Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre, analisando sua dinâmica temporal e estratégias funcionais 19 anos após contaminação por petróleo. Para a análise de dinâmica, a amostragem foi realizada por meio de 120 parcelas de 1x1 m, sendo registradas as espécies presentes, seu percentual de cobertura e altura máxima. Os padrões florísticos e estruturais foram comparados com dados fitossociológicos levantados logo após o derramamento de petróleo (2001) e também 12 anos após o vazamento. Para a análise das estratégias funcionais foi realizado um levantamento fitossociológico, bem como de atributos funcionais das espécies (Altura máxima - HMAX, Área foliar - AF, Área foliar específica - AFE, Conteúdo de matéria seca foliar - CMSF, Espessura foliar - EF, Comprimento específico da raiz - CER, Conteúdo de matéria seca da raiz - CMSR e Síndrome de dispersão - SD) na área contaminada e em área testemunha. Entre 2001 e 2019 foram registradas 80 espécies pertencentes a 56 gêneros e 30 famílias. Apenas cinco espécies foram registradas nos três anos. A riqueza de espécies evoluiu de 30 (2001) para 42 (2019), havendo substituição daquelas de maior importância estrutural e tendência ao aumento da representatividade de lenhosas. O grupo de espécies de maior relevância estrutural manteve-se estável entre os anos de 2012 e 2019, sendo detectada também maior similaridade florística entre as duas amostragens. O levantamento para a análise dos atributos funcionais resultou em riqueza de 17 espécies, reunidas em 16 gêneros e 11 famílias na Área Contaminada, e de 21 espécies, distribuídas em 16 gêneros e 12 famílias na Área Testemunha, sugerindo a formação de dois grupos distintos sob o aspecto fitossociológico. Quanto aos atributos funcionais, apenas a EF diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre as comunidades, sendo mais elevada na Área contaminada. As espécies mais abundantes apresentaram diferenças significativas entre as áreas. Na Área Contaminada, *Mimosa oblonga* apresentou maior CER, *Neocabreria serrulata* obteve maiores EF e CMSF e menor AFE e *Typha domingensis* apresentou menores AF e HMAX e maior AFE. Após 19 anos do incidente, a várzea apresentou uma tendência inicial de estabilidade, especialmente no âmbito das espécies de maior importância estrutural, demonstrando certa resiliência ao distúrbio. A reduzida variação nos atributos funcionais em nível de comunidade entre as áreas revela uma tendência de funções e estratégias ecológicas semelhantes. Por outro lado, a detecção de diferenças significativas de atributos entre as áreas para espécies de maior abundância pode refletir capacidades distintas de respostas adaptativas às circunstâncias impostas pelo ambiente.

Palavras-chave: Atributos funcionais. Distúrbio. Fitossociologia. Sucessão. Várzea.

ABSTRACT

Oil is an important natural resource and one of the main sources of energy. However, the oil industry is a sector characterized by negative environmental and social impacts. Among the accidents involving oil spills in Brazil in the early 21st Century, one of the worst was the spill at the Presidente Getúlio Vargas Refinery in 2000 in the municipality of Araucária, Paraná, which severely impacted the affected ecosystems. Several studies have been performed in the affected areas, but little is known about the effects caused to vegetation in environments where this type of contaminant remains for long periods. The objective of this research was to study a floodplain vegetation community, analyzing its temporal dynamics and functional strategies, 19 years after oil contamination. For the dynamics analysis, the sampling was performed through 120 plots of 1x1 m, being registered the present species, their percentage of coverage and maximum height. The floristic and structural patterns were compared with phytosociological data collected soon after the oil spill (2001) and also 12 years after the spill. For the functional strategies analysis, a phytosociological survey was carried out, as well as the study of the functional attributes of the species (Maximum height - HMAX, Foliar area - AF, Specific foliar area - AFE, Foliar dry matter content - CMSF, Foliar thickness - EF, Specific root length - CER, Root dry matter content - CMSR and Dispersion syndrome - SD) in the area affected by the contaminant and in the check area. Between 2001 and 2019, 80 species belonging to 56 genera and 30 families were registered. Only five species were registered in the three years. The richness of species evolved from 30 (2001) to 42 (2019), with substitution of those of greater structural importance and tendency to increase the representativity of woody species. The group of species of greater structural importance remained stable from 2012 to 2019, and greater floristic similarity was also detected between the two samples. The assessment of functional attributes resulted in the richness of 17 species, gathered in 16 genera and 11 families in the Contaminated Area, and 21 species, distributed in 16 genera and 12 families in the Check Area, suggesting the formation of two distinct groups in the phytosociological aspect. Regarding functional attributes, only EF differed significantly ($p < 0.05$) among communities, being higher in the Contaminated Area. The most abundant species showed significant differences between the areas. In the Contaminated Area, *Mimosa oblonga* presented higher CER, *Neocabreria serrulata* had higher PE and WMSF and lower PE, and *Typha domingensis* presented lower PE and HMAX, and higher PE. After 19 years of the incident, the floodplain vegetation showed an initial tendency of stability, especially in species of greater structural importance, showing some resilience to the disturbance. The reduced variation in functional attributes at community level among the areas reveals a trend of similar functions and ecological strategies. On the other hand, the detection of significant differences in attributes between areas for species of higher abundance may reflect distinct capacities of adaptive responses to circumstances imposed by the environment.

Keywords: Functional attributes. Disturbance. Phytosociology. Succession. Floodplain vegetation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ÁREAS CONTAMINADAS NA BACIA DO ARROIO SALDANHA.....	16
FIGURA 2 – VEGETAÇÃO NATURAL ESTABELECIDNA NA ÁREA DA REPAR, ARAUCÁRIA, PR. EM ÚLTIMO PLANO ENCOSTAS COM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E EM PRIMEIRO PLANO AS VÁRZEAS.	19
FIGURA 3 4– LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE ARAUCÁRIA, PR.	28
FIGURA 5 - MODELO DE INSTALAÇÃO SISTEMÁTICA DAS PARCELAS EM CADA PONTO DE AMOSTRAGEM.....	29
FIGURA 6 - MOLDURA DE ALUMÍNIO UTILIZADA PARA DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS E TOMADA DOS DADOS.....	30
FIGURA 7 - DIAGRAMA DE VEEN DO NÚMERO DE ESPÉCIES E FAMÍLIAS	35
FIGURA 8 – DENDROGRAMA DO COEFICIENTE DE JACCARD INCLUINDO LEVANTAMENTOS FITOSSOCIOLÓGICOS EM COMUNIDADE DE VÁRZEA DA REPAR REALIZADOS EM 2001, 2012 E 2019.	41
FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE NO MUNICÍPIO DE ARAUCÁRIA, PR, BRASIL.....	47
FIGURA 10 – COLETA DE SOLO EFETUADA ENTRE 20 E 40 CM DE PROFUNDIDADE DO SOLO PARA POSTERIOR ANÁLISE DE TPH.	48
FIGURA 11 – CROQUI DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS PARA AMOSTRAGEM FITOSSOCIOLÓGICA (TODAS AS PARCELAS) E DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS (EM VERDE) NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E ÁREA TESTEMUNHA, EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	50
FIGURA 12 – FOLHAS COLETADAS PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E ÁREA TESTEMUNHA, EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	51

FIGURA 13 – FOLHAS DE <i>Neocabreria serrulata</i> (DC.) R. M. KING & H. ROB COLETADAS PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE CONTAMINADO POR PETRÓLEO.....	52
FIGURA 14 – PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS REALIZADOS PÓS COLETA DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS - 1.	53
FIGURA 15 - PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS REALIZADOS PÓS COLETA DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS - 2.	54
FIGURA 16 – ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO-MÉTRICO A PARTIR DOS DADOS FITOSSOCIOLÓGICOS MOSTRANDO A SEPARAÇÃO DA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO DA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.....	59
FIGURA 17 – ALTURA MÁXIMA DAS ESPÉCIES VEGETAIS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	61
FIGURA 18 – ATRIBUTOS DE RAIZ DAS ESPÉCIES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	62
FIGURA 19 – ATRIBUTOS FOLIARES DAS ESPÉCIES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	62
FIGURA 20 – RESULTADO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS DIFERENÇAS ENTRE OS ATRIBUTOS FUNCIONAIS DAS ESPÉCIES LEVANTADAS NAS ÁREAS CONTAMINADA POR PETRÓLEO E TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.....	64
FIGURA 21 – ATRIBUTOS FUNCIONAIS DAS TRÊS ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES COM DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE A ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E A ÁREA TESTEMUNHA, EM	

FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	66
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESPÉCIES AMOSTRADAS EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE AFETADO POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO, ARAUCÁRIA, PR, SUAS FORMAS BIOLÓGICAS E REGISTRO NO HERBÁRIO EFC (EXCETO QUANDO INDICADO) PARA OS ANOS DE 2001 (FUNPAR, 2001), 2012 (BARDELLI-DA-SILVA, 2014) E 2019.....	32
TABELA 2 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DE UMA COMUNIDADE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE AFETADA POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO NO ANO 2000 NA REPAR, ARAUCÁRIA, PR PARA OS ANOS DE 2001 (FUNPAR, 2001, 2012 (BARDELLI-DA-SILVA, 2014) E 2019.....	36
TABELA 3 – ESPÉCIES REGISTRADAS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO (AC) E NA ÁREA TESTEMUNHA (AT), EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	56
TABELA 4 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DE ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	57
TABELA 5 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DA ÁREA TESTEMUNHA DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.	58
TABELA 6 – ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR, COM VALORES MÉDIOS ATRIBUTOS FUNCIONAIS.	60
TABELA 7 – ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR, COM VALORES MÉDIOS DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AF - Área foliar
- AFE - Área foliar específica
- ANE - Anemocórica
- APG - Angiosperm Phylogeny Group
- ARB - Arbustiva
- AUT - Autocórica
- CA - Cobertura absoluta
- CER - Comprimento específico da raiz
- CFB - Clima temperado com verão ameno
- CMSF - Conteúdo de matéria seca foliar
- CMSR - Conteúdo de matéria seca da raiz
- CONT - Contaminada
- CR - Cobertura relativa
- CWM - Community Weighted Mean
- EF - Espessura foliar
- EFC - Escola de Florestas Curitiba
- FA - Frequência absoluta
- FB - Forma biológica
- FR - Frequência relativa
- FUNPAR - Fundação da Universidade Federal para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura
- HE - Herbácea
- HMAX - Altura máxima
- IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná
- N - Número de repetições
- NMDS - Escalonamento multidimensional não-métrico
- PCA - Análise de componentes principais
- PPG - Pteridophyte Phylogeny Group
- PR - Paraná
- REPAR - Refinaria Presidente Getúlio Vargas

SD - Síndrome de dispersão

SUB - Subarrestiva

TEST - Testemunha

TPH - Hidrocarbonetos totais de petróleo

TR - Trepadeira

UPGMA - Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean

VI - Valor de importância

ZOO - Zoocórica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.1.1 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 COBERTURA VEGETAL NO ESTADO DO PARANÁ	18
2.2 FORMAÇÕES PIONEIRAS DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE	19
2.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL	20
2.4 HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO	22
3 CAPÍTULO I – DINÂMICA TEMPORAL DE UMA COMUNIDADE DE VÁRZEA AFETADA POR VAZAMENTO DE PETRÓLEO NO SUL DO BRASIL	25
3.1 INTRODUÇÃO	26
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	27
3.2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	28
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.4 CONCLUSÕES	42
4 CAPÍTULO II – ESTRATÉGIAS FUNCIONAIS DE COMUNIDADES HERBÁCEO/ARBUSTIVAS EM ÁREA DE VÁRZEA ATINGIDA POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO	44
4.1 INTRODUÇÃO	45
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	48
4.2.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	54
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	70

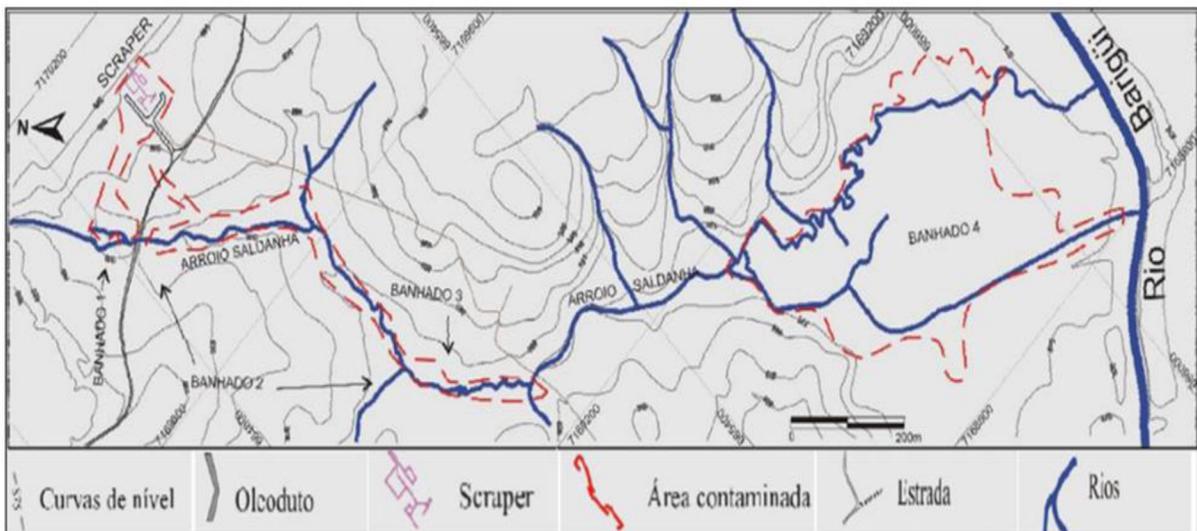
1 INTRODUÇÃO

Dada a variedade de serviços demandados pela atividade industrial petrolífera *stricto sensu*, seus desdobramentos se fazem presentes, em todo o país (PIQUET, 2012). No entanto, a indústria petrolífera é um setor marcado por impactos ambientais e sociais negativos (SILVA et al., 2019).

Acidentes ecológicos envolvendo o derramamento de petróleo são relatados com frequência em diversas partes do mundo. Geralmente ocorrem devido às atividades de extração, transporte e refinamento (LOPES; PIEDADE, 2010). De acordo com Baptista (2007), entre os anos de 1975 e 2004, aproximadamente 40 milhões de litros de petróleo e derivados, foram acidentalmente lançados no meio ambiente resultando na contaminação de solos, rios, manguezais e praias no Brasil.

Um dos derramamentos mais graves no país até essa época foi o vazamento de cerca de quatro milhões de litros de petróleo ocorrido em 16 de julho de 2000 no oleoduto OSPAR, na Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR), no município de Araucária, estado do Paraná (GABARDO et al., 2003). O petróleo atingiu o arroio Saldanha, extravasou e chegou ao rio Barigui, afluente do rio Iguaçu, afetando severamente neste percurso os ecossistemas ali existentes, destacando-se as Formações Pioneiras de Influência Flúvio-Lacustre, onde grande parte da vegetação foi devastada (FUNPAR, 2001) (FIGURA 1).

FIGURA 1 – ÁREAS CONTAMINADAS NA BACIA DO ARROIO SALDANHA.



FONTE: MELO (2006).

De acordo com Sloan (1999), as transformações físicas e biológicas no ecossistema, em seu processo de recuperação após distúrbio ocasionado por petróleo, são reguladas pelas características específicas do derramamento e do ambiente atingido.

O grau de impacto ambiental está associado a fatores como o habitat, época do ano, condições hidrográficas, frequência e duração da exposição ao contaminante, práticas utilizadas para a descontaminação da área, entre outros (SLOAN, 1999).

A vegetação pode ser afetada por um longo período de tempo e as perturbações são determinadas pela quantidade de petróleo e taxas de retenção, e também por mudanças nas interações competitivas e consequentes mudanças na estrutura da vegetação (GHEORGHE et al., 2018).

Diversos trabalhos relacionados aos efeitos do petróleo sobre a vegetação, em diferentes ecossistemas vem sendo desenvolvidos (MELO et al., 2003; BAEK et al., 2004; BARDDAL et al., 2004; RODRIGUES, 2005; MARANHO et al., 2006; LOPES & PIEDADE, 2010; RUSIN et al., 2015; HAN et al., 2016; GHEORGHE et al., 2018), no entanto, pouco se sabe sobre os efeitos que podem ser ocasionados à vegetação em ambientes onde o contaminante permanece por longos períodos.

Com base neste contexto, o presente trabalho foi redigido em dois capítulos buscando confirmar a hipótese de que 19 anos após a contaminação da comunidade vegetal de Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre, por derramamento de petróleo, esta apresenta um gradativo aumento da diversidade florística em seu processo de regeneração natural, bem como alterações nas características e consequentemente modificações nas estratégias funcionais de espécies quando comparadas com espécies de áreas não contaminadas por petróleo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a estrutura e diversidade funcional de uma Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre em ambiente contaminado há 19 anos por derramamento de petróleo, no Estado do Paraná, sul do Brasil.

1.1.1 Objetivos específicos

- i) Realizar o levantamento florístico e estrutural da vegetação 19 anos após a contaminação por petróleo e comparar com dados de levantamentos realizados em 2001 (após o derramamento de óleo) e em 2012 (12 anos após o vazamento) avaliando a dinâmica temporal deste ecossistema.
- ii) Caracterizar os atributos funcionais de espécies levantadas na área atingida pelo petróleo e em uma área testemunha não contaminada, e avaliar se essas características diferem entre os ambientes analisados.
- iii) Analisar se os impactos sobre a flora e a estrutura da vegetação decorrentes do vazamento de petróleo podem interferir nos atributos funcionais das espécies identificadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COBERTURA VEGETAL NO ESTADO DO PARANÁ

No Estado do Paraná, de acordo com Maack (1968), podem ser reconhecidas cinco regiões de paisagens naturais distintas: a planície litorânea (onde ocorrem formações pioneiras e parte da Floresta Ombrófila Densa); a Serra do Mar (com diferentes fitofisionomias da Floresta Ombrófila Densa); o Planalto de Curitiba ou Primeiro Planalto (ocorrência de vegetação Flúvio-Lacustre, Estepe e Floresta Ombrófila Mista); Planalto de Ponta Grossa ou Segundo Planalto (vegetação Flúvio-Lacustre, Estepe, Cerrado e Floresta Ombrófila Mista) e o Planalto de Guarapuava ou Terceiro Planalto (vegetação Flúvio-Lacustre, Estepe, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista).

A região de Curitiba e arredores era recoberta, originalmente, por uma vegetação de constituição fisionômica herbáceo-graminóide, denominada pelo IBGE (1992) de Estepe Gramíneo-Lenhosa (EGL), os conhecidos campos limpos. Ocorriam na região associadas aos capões de Floresta Ombrófila Mista e às florestas ripárias, ou seja, a vegetação arbórea situada ao redor das nascentes e ao longo dos rios e córregos constituídas de espécies típicas da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), formação característica dos planaltos sul-brasileiros.

Na área da REPAR, nos locais de encostas, destacam-se dois tipos principais de vegetação natural remanescente: as formações secundárias da Floresta Ombrófila Mista, em vários estágios sucessionais, e os núcleos de EGL em

diferentes graus de modificação, estando, em alguns setores, muito descaracterizadas (FUNPAR, 2001). Nas porções mais planas ocorrem as Formações Pioneiras de Influência Flúvio-Lacustre (IBGE, 1992), também conhecidas como várzeas (FIGURA 2), que, conforme seu desenvolvimento pode ter fisionomia exclusivamente herbácea (campos higrófilos) ou com elementos arbóreos (*Erythrina crista-galli*, *Sebastiania* spp.) (FUNPAR, 2001).

FIGURA 2 – VEGETAÇÃO NATURAL ESTABELECIDA NA ÁREA DA REPAR, ARAUCÁRIA, PR. EM ÚLTIMO PLANO ENCOSTAS COM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E EM PRIMEIRO PLANO AS VÁRZEAS.



FONTE: Sousa (2019).

2.2 FORMAÇÕES PIONEIRAS DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE

Recebe a denominação de formação pioneira a vegetação que ocupa áreas de solo de deposição recente, ainda instáveis. Enquadram-se nessa condição as planícies fluviais, marinhas e as depressões aluvionares (pântanos, lagoas e lagoas) (IBGE, 1992). Segundo Roderjan et al. (2002), as áreas de formações pioneiras abrangem tipos distintos de vegetação, que são influenciadas pelas águas do mar, dos rios ou pela ação de ambas, em diferentes níveis ou intensidades.

As Formações Pioneiras de Influência Flúvio-Lacustre, também conhecidas como Várzeas, são comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou, então, das depressões alagáveis todos os anos (IBGE, 1992).

Os ecossistemas de várzea são altamente dinâmicos geomorfologicamente, e em seu processo de formação, essa característica associada à inundação periódica exerce efeitos diretos sobre a sucessão natural, sobre a estrutura e composição de vegetação e também sobre a distribuição de espécies (JUNK et al., 1989; WITTMANN et al., 2002; WITTMANN e JUNK, 2003), sendo compostas principalmente por herbáceas, podendo também se estabelecer as espécies aquáticas (GALVÃO et al., 2000).

As áreas alagadiças são vitais como habitats para peixes, invertebrados aquáticos, e pássaros, sendo também importantes para o controle de enchentes e de água potável (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). As espécies presentes nesses ambientes possuem elevada capacidade de rebrota, o que às vezes pode ser uma característica inerente da espécie para se estabelecer em ambientes fluidais (GALVÃO et al., 2000).

No estado do Paraná as FPIFL se estruturam sobre Organossolos e Gleissolos que são influenciados pelo regime hídrico dos rios e ocorrem de forma generalizada em todo o estado. São representadas principalmente por espécies de Cyperaceae, Poaceae e da Typhaceae - *Typha domingensis*, espécie cosmopolita, ocorrendo nas regiões tropicais e subtropicais do sul do Brasil. Além dessas, são comuns espécies de Xyridaceae, Lentibulariaceae e Alismataceae (RODERJAN et al., 2002).

De acordo com o Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra, que fornece a distribuição geográfica da tipologia de uso e cobertura no Estado do Paraná, as várzeas abrangem uma área de 270.637,73 ha, correspondendo a 1,354% no Estado (ITCG, 2019).

2.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL

“Diversidade biológica” significa a variabilidade de organismos vivos incluindo terrestres, marinhos ou de outros sistemas aquáticos e os complexos ecológicos dos

quais eles fazem parte; engloba a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (MAGURRAN, 2013).

A quantificação da diversidade biológica centrou-se quase que exclusivamente, até meados dos anos 90 na medição da diversidade taxonômica, tendo sido desenvolvidos inúmeros índices e métricas para estimar os diferentes aspectos deste enfoque da diversidade (MAGURRAN, 2013). No entanto, a diversidade taxonômica representa apenas um nível da organização biológica, podendo não refletir a diversidade que se expressa em outras dimensões da biodiversidade, como a diversidade funcional (FOREST et al., 2007).

A diversidade funcional pode ser definida como a variação e a distribuição de atributos funcionais na comunidade, representados por características das espécies e que estão relacionados com a rede de possibilidades de interações entre espécies e destas com o meio (DURIGAN, 2012). É um componente da biodiversidade que tem sido utilizado para explicar os processos ecossistêmicos e de comunidades (DÍAZ; CABIDO, 2001). Ela prioriza a compreensão da função dos organismos, refletida nas características desses indivíduos nas comunidades e ecossistemas, mais do que sua história evolutiva (PETCHEY; GASTON, 2002).

A quantificação da diversidade funcional é definida como o valor, o nível de variação, a distribuição e a abundância relativa das características funcionais dos organismos em uma comunidade, que permite avaliar a complementaridade e a redundância das espécies coexistentes (SCHLEUTER et al., 2010; PLA et al., 2012).

Várias características funcionais consideradas chave têm sido propostas para avaliar o desempenho adaptativo de plantas (POORTER et al., 2008), por estarem relacionadas com a capacidade de sobrevivência, crescimento e reprodução das espécies (WESTBOY, 1998; MARTINEZ-VILALTA et al., 2010) e também por serem características fáceis de medir (CORNELISSEN et al., 2003), como, por exemplo, a área foliar, a densidade básica da madeira, a sua altura máxima, dentre outras (KRAFT et al., 2008).

Segundo Vendramini et al. (2002) as características funcionais, como por exemplo a matéria seca foliar, área foliar e espessura foliar, são consideradas as principais indicadoras de taxa de crescimento dos vegetais. No ambiente, os ajustes dessas características podem ser considerados estratégias desenvolvidas para aumentar a eficiência do uso dos diferentes recursos pelas plantas.

A área foliar específica representa a área de captura de luz por unidade de biomassa investida no tecido foliar e pode ser considerada um descritor fundamental de estrutura e função da folha (WESTBOY, 1998).

A densidade da madeira, descreve a proporção de tecido e parede celular do caule (SWENSON; ENQUIST, 2007) e a sobrevivência aumenta com o aumento da densidade da madeira, uma vez que madeiras densas possibilitam maior estabilidade mecânica (CHAVE et al., 2009).

O comprimento específico da raiz, ou razão entre o comprimento da raiz e a biomassa seca das raízes finas, é o caráter subterrâneo análogo à área foliar específica, e também representa uma relação entre a unidade padrão de aquisição (comprimento da raiz) no investimento do recurso naquela unidade (massa) (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

A altura máxima é a altura que um indivíduo maduro típico de uma espécie atinge em um determinado habitat. Essa característica está associada com a forma de crescimento, a posição das espécies no gradiente de luz vertical da vegetação, o vigor competitivo, o tamanho reprodutivo, a fecundidade da planta, a longevidade média e se a espécie é capaz de se estabelecer e atingir um tamanho reprodutivo entre eventos de perturbação (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

As características funcionais influenciam a capacidade de sobrevivência dos organismos e refletem as inúmeras formas com que estes se beneficiam de um determinado recurso para o seu desenvolvimento (VIOLLE et al., 2007). De acordo com Grime (2001), essas características são indicadores da ecologia das espécies e comumente são usadas para identificar as estratégias de plantas que estão contribuindo para a estruturação e manutenção de comunidades e ecossistemas, a fim de sobreviver aos ambientes (DÍAZ; CABIDO, 2001; DIAZ et al., 2007).

2.4 HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO

O petróleo é um composto natural, com composição variável, derivado de matéria orgânica que foi depositada em fundos de lagos e mares e que passou por transformações químicas ao longo de milhões de anos (FONSECA, 1992; GESAMP, 1993). Possui alta toxicidade e pode impactar de forma agressiva os ecossistemas, principalmente os costeiros (ERNESTO, 2010).

É constituído por uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, destacando-se os hidrocarbonetos, compostos de hidrogênio e carbono, que constituem até 98% da composição total de petróleo (FONSECA, 1992). São divididos em alifáticos e aromáticos, diferenciando-se pelas ligações carbônicas (SILVA, 2002). Os aromáticos diferenciam-se dos alifáticos por apresentarem um ou mais anéis de benzeno como componentes estruturais; a ligação entre as estruturas aromáticas contribui para a polaridade, ocorrendo assim o oposto com os compostos alifáticos que são apolares ou muito pouco polares (POTTER; SIMMONS, 1998).

O petróleo cru não é completamente degradado no ambiente, e por ser um poluente hidrofóbico, os seus hidrocarbonetos são de difícil remediação, podendo ficar fortemente retidos na matriz do solo, com persistência dos resíduos mais complexos (ATLAS, 1995), principalmente os hidrocarbonetos com longas cadeias de carbono, que são extremamente duráveis, estáveis e de difícil remoção (KERAMITSOGLU et al., 2003). Seus efeitos são principalmente físicos, criando uma barreira viscosa na interface água-ar (VAL; ALMEIDA-VAL, 1999). Já os hidrocarbonetos de cadeia curta são a fração mais tóxica para os organismos aquáticos, porém, são voláteis e possuem um tempo de vida relativamente curto no ambiente (KERAMITSOGLU et al., 2003).

Quando o petróleo atinge o solo, seus componentes geralmente se dividem em diferentes fases: uma pequena fração dos componentes da mistura se dissolve na água do lençol freático, outra porção é retida nos espaços porosos do solo na sua forma líquida pura como saturação residual e outra parte dos contaminantes passíveis de evaporação dão origem à contaminação atmosférica (NADIM et al., 2000).

Estudos que abordaram a influência do distúrbio ocasionado pelo petróleo em diferentes espécies de plantas e ecossistemas, em grande parte relataram ter obtido resultados negativos em relação a riqueza e ao crescimento de espécies, redução nas dimensões foliares, no número de rebrotamentos, no desenvolvimento radicular e da parte aérea, assim como na taxa fotossintética, entre outros (BAEK et al., 2004; MARANHO et al., 2006; LOPES & PIEDADE, 2010; RUSIN et al., 2015; HAN et al., 2016; GHEORGHE et al., 2018).

A toxicidade do petróleo e os danos causados sobre os ecossistemas, bem como as respostas desses à contaminação, dependem dos fatores bióticos e abióticos, como o tipo de petróleo, a quantidade do contaminante depositada no

ambiente, as condições ambientais e as espécies vegetais envolvidas (PEZESHKI et al., 2000).

3 CAPÍTULO I – DINÂMICA TEMPORAL DE UMA COMUNIDADE DE VÁRZEA AFETADA POR VAZAMENTO DE PETRÓLEO NO SUL DO BRASIL

Resumo

Com o objetivo de estudar a dinâmica temporal de uma comunidade de várzea 19 anos após vazamento de petróleo, foi realizada a caracterização fitossociológica para comparar com aspectos florísticos e estruturais levantados logo após o derramamento de petróleo (2001) e 12 anos após (2012). O estudo foi realizado em Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre localizada em Araucária, PR, onde ocorreu o rompimento de um oleoduto em 2000, contaminou a área com cerca de quatro milhões de litros de petróleo. A amostragem foi realizada por meio de 120 parcelas de 1x1 m, sendo registradas as espécies presentes, seu percentual de cobertura e altura predominante. Entre 2001 e 2019 foram registradas nos três levantamentos 80 espécies pertencentes a 56 gêneros e 30 famílias. Apenas cinco espécies foram registradas nos três anos. A riqueza de espécies evoluiu de 30 (2001) para 42 (2019), havendo substituição das espécies de maior importância estrutural e tendência ao aumento da representatividade de lenhosas. O grupo de espécies de maior relevância estrutural manteve-se estável entre os anos de 2012 e 2019, sendo detectada também maior similaridade florística entre as duas amostragens. Após 19 anos do incidente, a comunidade de várzea apresentou uma tendência inicial de estabilidade, especialmente no âmbito das espécies de maior importância estrutural, demonstrando certa resiliência ao distúrbio.

Palavras-chave: Fitossociologia. Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre. Sucessão.

Abstract

In order to study the dynamics of a floodplain vegetation community 19 years after an oil spill, a phytosociological characterization was carried out to compare with floristic and structural aspects surveyed immediately after the oil spill (2001) and 12 years after (2012). The study was carried out in a floodplain located in Araucaria, PR, where a pipeline rupture occurred in 2000, contaminating the area with about four million liters of oil. The sampling was carried out by 120 plots of 1x1 m, being registered the occurrent species, their percentage of coverage and maximum height. Between 2001 and 2019 80 species belonging to 56 genera and 30 families were recorded in the three surveys. Only five species were recorded in the three years. The richness of species increased from 30 (2001) to 42 (2019), with substitution of species of higher structural importance and a tendency to increase the representativeness of woody species. The group of species of higher structural importance remained stable between the years 2012 and 2019, being also detected

greater floristic similarity between the two samples. After 19 years of the incident, the floodplain community showed an initial trend of stability, especially regarding species of greater structural importance, showing some resilience to the disturbance.

Keywords: Phytosociology. Floodplain herbaceous vegetation. Succession.

3.1 INTRODUÇÃO

O petróleo é um importante recurso natural e uma das principais fontes de energia utilizada pelo ser humano (MARTINS et al., 2015; RIBEIRO et al., 2018). No entanto, a indústria petrolífera é um setor marcado por impactos ambientais e sociais negativos (SILVA et al., 2019) devido aos inúmeros acidentes envolvendo vazamentos de petróleo ocorridos em diversos países do mundo.

Um derramamento de petróleo pode gerar uma série de impactos sobre organismos e ecossistemas (KHANNA; BARUA, 2001). O petróleo possui um elevado teor de toxicidade, sendo altamente inflamável e nocivo (RIBEIRO et al., 2018), e é capaz de provocar a morte de animais e plantas, além de comprometer a qualidade do solo, do ar e das águas (MARTINS et al., 2015).

Dentre os acidentes envolvendo derramamento de petróleo no Brasil no início do século XXI, um dos mais graves foi o vazamento na Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR), em 2000, no município de Araucária, estado do Paraná. O vazamento atingiu o Rio Barigui, afluente do Rio Iguaçu, e afetou severamente os ecossistemas próximos ao ponto de derramamento (GABARDO et al., 2003). Dentre os tipos de vegetação natural mais atingidos, destacam-se as Formações Pioneiras de influência Flúvio-Lacustre, também conhecidas como várzeas (FUNPAR, 2001).

Os ecossistemas de várzea são comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou, então, das depressões alagáveis todos os anos (IBGE, 1992). São compostos principalmente por espécies herbáceas que se estruturam sobre Organossolos e Gleissolos, sendo de ocorrência generalizada em todo o estado do Paraná (RODERJAN et al., 2002).

As áreas de várzea são consideradas por lei como Áreas de Proteção Permanente, com propriedades dos ecossistemas aquático e terrestre, e se caracterizam pela ampla riqueza de espécies vegetais e animais, representando uma importante porção da biodiversidade brasileira (KOZERA, 2009).

Desde o incidente na REPAR, há 20 anos, diversos estudos foram desenvolvidos nas áreas afetadas (MELO et al., 2003; BARDDAL et al., 2004; RODRIGUES, 2005; MARANHO et al., 2006; CARVALHO, et al., 2009; SOCHER et al., 2008; MILANI et al., 2013; BARDELLI-DA-SILVA, 2014; RIBEIRO, 2015; KANIESKI et al., 2017) e, de acordo com Kanieski et al. (2017), cerca de um milhão de litros de petróleo ainda se encontram na várzea, a área mais fortemente afetada pelo vazamento (FUNPAR, 2001). No entanto, a maioria dos trabalhos realizados na área atingida foram no ambiente de Floresta Ombrófila Mista, e mesmo com alguns estudos desenvolvidos na área de várzea (FUNPAR, 2001; BARDELLI-DA-SILVA, 2014), ainda pouco se sabe sobre os processos de mudança da composição e estrutura da vegetação ao longo do tempo em várzeas afetadas por esse tipo de contaminante.

Com base nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica temporal de uma comunidade de várzea, caracterizando a flora e a estrutura da vegetação atualmente presente na área para comparação com aspectos florísticos e estruturais levantados logo após o derramamento de petróleo (FUNPAR, 2001) e com os dados levantados 12 anos após o vazamento (BARDELLI-DA-SILVA, 2014). Como hipótese norteadora considerou-se que, entre 2001 e 2019 o processo de regeneração natural da várzea resultou em gradativo aumento da diversidade florística e complexidade estrutural.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área de Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre, popularmente conhecida como várzea, situada no município de Araucária, Região Metropolitana de Curitiba, porção centro-sul do Primeiro Planalto Paranaense (25° 35' 12" S e 49° 20' 45" W) (FIGURA 3). A várzea estudada possui aproximadamente 5,5 hectares e está localizada no interior da propriedade da Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR, unidade da Petróleo Brasileiro S. A. (PETROBRAS), onde ocorreu um vazamento de petróleo de um oleoduto em 2000, contaminando a área com cerca de quatro milhões de litros de petróleo (GABARDO

et al., 2003). Além da contaminação, destaca-se que a comunidade de várzea foi muito impactada pelas atividades de controle e remoção do petróleo (BARDELLI-DA-SILVA, 2014).

Os solos da área de estudo são hidromórficos do tipo Gleissolo (MELO, 2006). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, com precipitação média anual de aproximadamente 1460 mm e temperatura média anual de 18°C (IAPAR, 2000).

FIGURA 3 4– LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

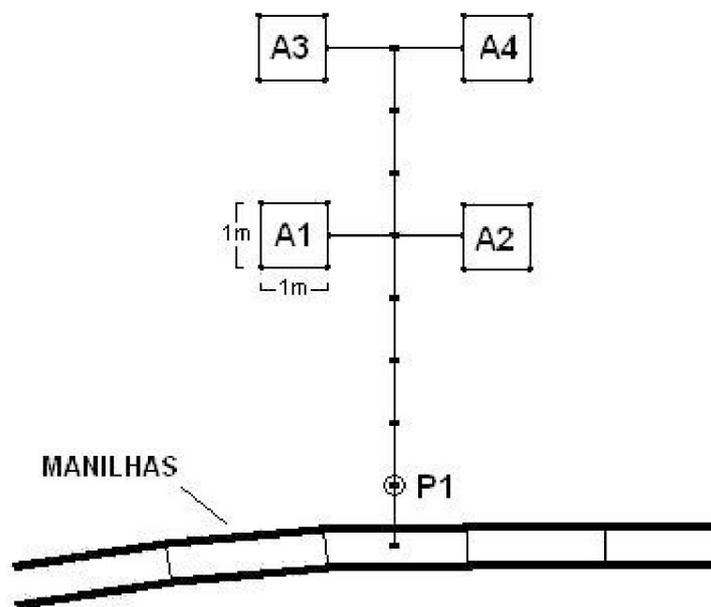
3.2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para analisar a dinâmica temporal da comunidade vegetal da várzea afetada pelo derramamento de petróleo foram utilizados dados de amostragens fitossociológicas realizadas em 2001, 2012 e 2019. A primeira tomada de dados fitossociológicos da vegetação foi realizada em janeiro de 2001 por meio de 120 parcelas temporárias de 1x1 m distribuídas aleatoriamente por sorteio pela área de estudo (FUNPAR, 2001). O segundo levantamento foi realizado em fevereiro de 2012 por Bardelli-da-Silva (2014), que instalou um novo sistema amostral com 120 parcelas permanentes de 1x1 m contempladas em 30 pontos de amostragem

distribuídos aleatoriamente por sorteio ao longo de cada ramal de uma rede de trilhas com manilhas instalada na época do vazamento com fins de contenção do petróleo (MELO, 2006). Sete pontos de amostragem foram instalados ao longo de ramais de trilhas secundárias, em regiões onde não havia acesso pelas trilhas de manilhas (BARDELLI-DA-SILVA, 2014). Por fim, em maio de 2019 foram tomados dados fitossociológicos das mesmas parcelas instaladas em 2012 por Bardelli-da-Silva (2014).

Cada ponto de amostragem utilizado nas tomadas de dados de 2012 e 2019 abrangeu dois pares de parcelas, instalados de forma sistemática, respectivamente a 4 m e a 7 m da borda da trilha (FIGURA 4) (FUNPAR, 2013).

FIGURA 5 - MODELO DE INSTALAÇÃO SISTEMÁTICA DAS PARCELAS EM CADA PONTO DE AMOSTRAGEM.



FONTE: FUNPAR (2013).

Dentro de cada parcela, delimitada por uma moldura quadrada de alumínio (FIGURA 5), foram registradas todas as espécies presentes e realizada a estimativa visual do seu percentual de cobertura e da altura máxima (esta variável não foi coletada em 2001), aplicando o procedimento amostral utilizado por Caetano (2003). Foram coletados exemplares para posterior determinação e tombamento no Herbário Escola de Florestas Curitiba (EFC).

O material coletado foi herborizado no Laboratório de Dendrologia e Conservação da Flora da Universidade Federal do Paraná, e identificado por meio de comparações a exsicatas disponíveis no Herbário EFC, bem como por meio de consulta à literatura especializada e ao banco de dados eletrônico do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2019). A organização dos taxa seguiu os sistemas Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e Pteridophyte Phylogeny Group (PPG, 2016).

As espécies registradas foram classificadas em formas biológicas adaptando-se as classes utilizadas por Bardelli-da-Silva (2014): herbácea (sem lignina no caule), subarbustiva (lenhosa com ramificações próximas ao solo e porte inferior a 100 cm), arbustiva (lenhosa com ramificações próximas ao solo e porte superior a 100 cm), trepadeira (volúvel herbácea ou lenhosa que se apoia sobre outras plantas, em geral com estruturas de fixação).

FIGURA 6 - MOLDURA DE ALUMÍNIO UTILIZADA PARA DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS E TOMADA DOS DADOS.



FONTE: Sousa (2019).

Para cada espécie foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos: altura máxima (HMAX), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), cobertura absoluta (CA), cobertura relativa (CR) e valor de importância

(VI) (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; BOLDRINI; MIOTTO, 1987; FELFILI; REZENDE, 2003). Além desses parâmetros, foi calculada a diversidade, adotando o índice de diversidade de Shannon (H') e a uniformidade por meio da equabilidade de Pielou (J').

Para a análise de similaridade entre os dados obtidos nos diferentes anos de amostragem foi calculado o índice de similaridade de Jaccard (ISJ). A partir da matriz de similaridades de Jaccard foi gerado um dendrograma UPGMA de agrupamento, utilizando o pacote vegan (OKSANEN et al., 2019) no ambiente de programação estatística R (R CORE TEAM, 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 2001 e 2019 foram registradas nos três levantamentos fitossociológicos ao todo 80 espécies pertencentes a 56 gêneros e 30 famílias (TABELA 1).

A comunidade amostrada em 2001 era constituída por 30 espécies, distribuídas em 18 gêneros e 10 famílias, com destaque para Cyperaceae (10 spp.), Asteraceae e Poaceae (5 spp. cada) (FUNPAR, 2001) (TABELA 1). Naquele ano não foi registrada a ocorrência de pteridófitas. Em 2012, Bardelli-da-Silva (2014) registrou 46 espécies pertencentes a 37 gêneros e 25 famílias, destacando como de maior riqueza Asteraceae (11 spp.), Cyperaceae (4 spp.), Poaceae e Polygonaceae (3 spp. cada).

Por fim, em 2019 foram registradas 42 espécies, reunidas em 33 gêneros e 23 famílias, dentre as quais apresentaram maior riqueza Asteraceae (7 spp.), Onagraceae e Rubiaceae (4 spp. cada), Poaceae, Polygonaceae e Solanaceae (3 spp. cada). Da mesma forma como em 2012, foram registradas três famílias de pteridófitas (Blechnaceae, Equisetaceae e Thelypteridaceae) (TABELA 1).

Em relação aos hábitos das espécies nos três anos avaliados, as herbáceas representaram 62,5% (50) das espécies, onde 16 ocorreram exclusivamente no ano de 2001, 13 estavam presentes em pelo menos dois dos três anos e quatro foram registradas nos três anos avaliados. As espécies trepadeiras representaram 18,7% (15) do total, das quais apenas uma foi registrada em 2001, em contraste com 11 espécies registradas em cada uma das amostragens subsequentes, sendo que oito foram comuns aos anos de 2012 e 2019. Quanto às subarborescentes, com um total de

11,2% (9), duas foram registradas em 2001, cinco em 2012 e quatro em 2019, das quais duas espécies ocorreram tanto em 2012 quanto em 2019. As arbustivas representaram 7,5% (6) das espécies, com registro de três em 2001, quatro em 2012 e cinco em 2019, sendo que duas espécies foram comuns aos três anos de amostragem (TABELA 1).

TABELA 1 - ESPÉCIES AMOSTRADAS EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE AFETADO POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO, ARAUCÁRIA, PR, SUAS FORMAS BIOLÓGICAS E REGISTRO NO HERBÁRIO EFC (EXCETO QUANDO INDICADO) PARA OS ANOS DE 2001 (FUNPAR, 2001), 2012 (BARDELLI-DA-SILVA, 2014) E 2019.

(continua)

GRUPO / FAMÍLIA	ESPÉCIE	FB	2001	2012	2019	EFC
PTERIDÓFITAS						
Blechnaceae	<i>Neoblechnum brasiliense</i> (Desv.) Gasper & V.A.O. Dittrich	He	-	X	X	11086
Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L.	He	-	X	X	10753
Thelypteridaceae	<i>Amauropelta decurtata</i> (Link) Salino & T.E. Almeida	He	-	X	-	11115
	<i>Christella dentata</i> (Forssk.) Brownsey & Jermy	He	-	-	X	9845
	<i>Cyclosorus interruptus</i> (Willd.) H. Ito	He	-	X	X	11087
ANGIOSPERMAS						
Acanthaceae	<i>Hygrophila costata</i> Nees	He	-	X	-	11077
Alismataceae	<i>Echinodorus grandiflorus</i> (Cham. & Schltr.) Micheli	He	-	X	-	10891
Amaranthaceae	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	He	-	-	X	11043
Apiaceae	<i>Eryngium pandanifolium</i> Cham. & Schltdl.	He	-	X	X	11414
Apocynaceae	<i>Oxypetalum tubatum</i> Malme	Tr	-	X	X	11095
Asteraceae	<i>Baccharis anomala</i> DC.	Sub	-	X	-	10773
	<i>Baccharis pseudomyriocephala</i> Malag.	Sub	-	X	X	10746
	<i>Baccharis vulneraria</i> Baker	Sub	-	-	X	11055
	<i>Campuloclinium macrocephalum</i> (Less.) DC.	He	-	X	X	10757
	<i>Chrysolaena platensis</i> (Spreng.) H.Rob.	Sub	-	X	-	10728
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Sub	-	X	-	11036
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E.Walker	Sub	X	-	-	47943

						(UPCB)
	<i>Erechtites valerianifolius</i> (Wolf) DC.	He	X	X	-	10743
	<i>Eupatorium</i> sp.	Sub	X	-	-	-
	<i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less.	He	-	X	-	10764
	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	Tr	-	X	X	10742
	<i>Mikania parodii</i> Cabrera	Tr	X	-	-	47945
						(UPCB)
	<i>Neocabreria serrulata</i> (DC.) R. M. King & H. Rob.	Arb	-	X	X	11034
	<i>Senecio juergensii</i> Mattf.	He	-	-	X	10801
	<i>Sonchus</i> sp.	He	X	-	-	-
	<i>Stevia</i> sp.	He	-	X	-	-
	Asteraceae 1	Sub	-	X	X	-
Bignoniaceae	<i>Amphilophium crucigerum</i> (L.) L.G. Lohmann	Tr	-	X	-	-
Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i> Thunb. *	Tr	-	X	X	10784
	<i>Valeriana salicariifolia</i> Vahl	He	-	X	-	10898
Caryophyllaceae	<i>Cerastium rivulare</i> Cambess.	He	-	X	X	10698
Curcubitaceae	<i>Cyclanthera tenuifolia</i> Cogn.	Tr	-	X	X	10761
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp.	Tr	-	X	-	-
Cyperaceae	<i>Cyperus haspan</i> L.	He	X	-	-	11069
	<i>Cyperus hermaphroditus</i> (Jacq.) Standl.	He	X	X	-	11068
	<i>Cyperus hortensis</i> (Salzm. ex Steud.) Dorr	He	X	-	-	10781
	<i>Cyperus lanceolatus</i> Poir.	He	X	-	-	11047
	<i>Cyperus</i> cf. <i>megapotamicus</i> Kunth	He	X	-	-	-
	<i>Cyperus virens</i> Michx	He	X	-	-	11059
	<i>Cyperus</i> sp.	He	X	-	-	-
	<i>Eleocharis flavescens</i> (Poir.) Urb.	He	X	-	-	-
	<i>Eleocharis montana</i> (Kunth) Roem. & Schult.	He	X	X	-	10783
	<i>Rhynchospora corymbosa</i> (L.) Britton	He	X	-	-	10897
	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C. A. Mey.) Soják	He	-	X	X	10807
	Cyperaceae 1	He	-	X	-	-
Escalloniaceae	<i>Escallonia megapotamica</i> Spreng.	Arb	-	X	X	11017
Fabaceae	<i>Mimosa oblonga</i> Benth. var. <i>oblonga</i>	Tr	-	X	X	11044
Iridaceae	<i>Sisyrinchium micranthum</i> Cav.	He	X	-	-	10839
Juncaceae	<i>Juncus effusus</i> L.	He	-	-	X	10683
	<i>Juncus</i> sp.	He	X	-	-	-
Marantaceae	<i>Thalia geniculata</i> L.	He		X	X	11076
Onagraceae	<i>Ludwigia elegans</i> (Cambess.) H. Hara	Arb	X	X	X	9904
	<i>Ludwigia peruviana</i> (L.) H.Hara	Arb	X		X	11102
	<i>Ludwigia sericea</i> (Cambess) H. Hara	Arb	X	X	X	11075
	<i>Ludwigia</i> sp.	Sub	-	-	X	-
Poaceae	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P.Beauv.	He	X	-	-	11009
	<i>Erianthus</i> sp.	He	-	-	X	-
	<i>Hymenachne pernambucensis</i> (Spreng.) Zuloaga	He	X	X	X	11023
	<i>Leersia hexandra</i> Sw.	He	X	-	-	11205

	<i>Paspalum exaltatum</i> J.Presl	He	-	X	-	11399
	<i>Steinchisma laxum</i> (Sw.) Zuloaga	He	X	-	-	11032
	Poaceae 1	He	X	X	X	-
Polygonaceae	<i>Polygonum meisnerianum</i> Cham.	He	-	X	-	10785
	<i>Polygonum persicaria</i> L.	He	X	X	X	10771
	<i>Polygonum stelligerum</i> Cham.	He	-	X	X	10755
	<i>Polygonum</i> sp.	He	-	-	X	-
Pontederiaceae	<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pav.	He	X	-	-	11105
	<i>Heteranthera zosterifolia</i> Mart.	He	X	-	-	11106
Rubiaceae	<i>Coccocypselum lanceolatum</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	He	-	-	X	9857
	<i>Emmeorrhiza umbellata</i> (Spreng.) K. Schum.	Tr	-	X	X	11417
	<i>Galium equisetoides</i> (Cham. & Schtdl.) Standl.	Tr	-	-	X	10809
	<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	He	-	-	X	11051
Smilacaceae	<i>Smilax campestris</i> Griseb.	Tr	-	-	X	11384
Solanaceae	<i>Cestrum corymbosum</i> Schtdl.	Arb	-	-	X	10845
	<i>Solanum laxum</i> Spreng.	Tr	-	X	X	10766
	<i>Solanum flaccidum</i> Vell.	Tr	-	X	-	10843
	<i>Solanum</i> sp.	Tr	-	-	X	-
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	He	X	X	X	11024
Urticaceae	<i>Boehmeria cylindrica</i> (L.) Sw.	He	X	X	-	11040
Vitaceae	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E.Jarvis	Tr	-	X	X	10760

FONTE: Sousa (2020).

(conclusão)

LEGENDA: FB: Forma Biológica - Arb: arbustiva; He: herbácea; Sub: subarbustiva; Tr: trepadeira

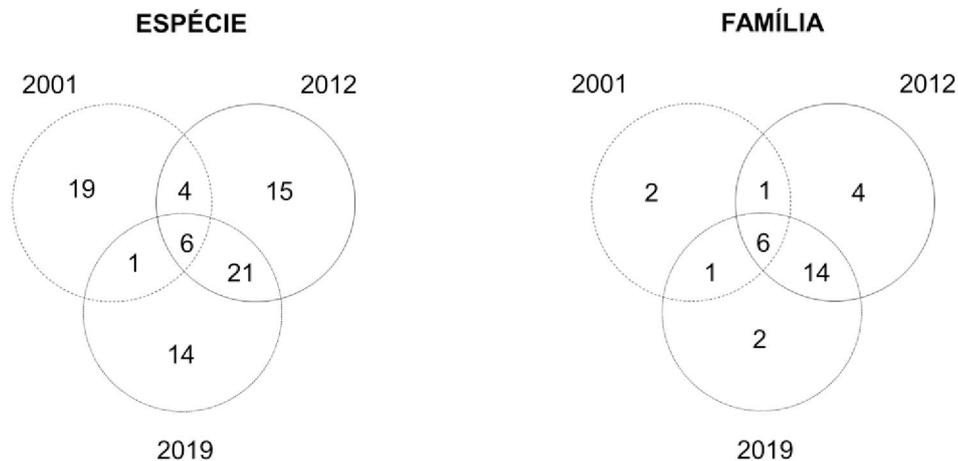
NOTA: * espécie exótica invasora.

Das 30 espécies registradas em 2001, 10 (33,3%) tiveram ocorrência também em 2012 e apenas sete (23,3%) em 2019. Por outro lado, dos totais registrados em 2012 (46) e 2019 (42), 27 espécies (58,7%) foram registradas em ambos os anos. Apenas seis espécies foram registradas nos três anos, sendo elas *Hymenachne pernambucensis* (Spreng.) Zuloaga, *Ludwigia elegans* (Cambess.) H. Hara, *Ludwigia sericea* (Cambess) H. Hara, *Polygonum persicaria* L., *Typha domingensis* Pers. e Poaceae 1 (FIGURA 6). No entanto, do total de espécies registradas nos estudos fitossociológicos dos três anos, a maioria (76,2%) foi também observada no levantamento florístico realizado no mesmo local por Bardellida-Silva (2014), entre 2011 e 2013 que obteve registro de 221 espécies.

Quanto à ocorrência de famílias para os diferentes anos, das 10 famílias observadas em 2001, oito foram registradas também em 2012, 2019 ou em ambos (FIGURA 6), enquanto Iridaceae e Pontederiaceae ocorreram somente neste primeiro levantamento. Para os anos de 2012 (25) e 2019 (23) houve repetição de

20 famílias nos dois estudos. As famílias observadas nos três anos foram Asteraceae, Cyperaceae, Onagraceae, Poaceae, Polygonaceae e Typhaceae.

FIGURA 7 - DIAGRAMA DE VEEN DO NÚMERO DE ESPÉCIES E FAMÍLIAS ENCONTRADAS NA ÁREA DE VÁRZEA DA REPAR NOS ANOS DE 2001 (FUNPAR, 2001), 2012 (BARDELLI-DA-SILVA, 2014) E 2019.



FONTE: Sousa (2020).

Dentre as modificações florísticas ocorridas na comunidade, as mais evidentes foram o aumento da riqueza total de 2001 para 2012 e 2019. Nota-se um pequeno decréscimo da segunda para a terceira amostragem avaliada, porém, pode ter ocorrido em função das coletas terem sido realizadas em diferentes épocas do ano. Um aspecto diferencial a ser destacado é o fato de não terem sido registradas pteridófitas em 2001, as quais passaram a ser representadas por quatro espécies em cada uma das amostragens subsequentes.

Houve também uma redução na riqueza da família Cyperaceae, que foi bastante frequente no levantamento de 2001 (10 spp.), teve mediana ocorrência em 2012 (4 spp.) e representada apenas por uma espécie em 2019. No entanto, a maioria dessas espécies foram registradas por inventário florístico de Bardelli-da-Silva (2014), nas áreas mais próximas as manilhas. É possível que as espécies desta família tenham uma predisposição para colonização pioneira, dependendo de maior insolação, condição que ocorria em 2001, no início do processo de reocupação da área alterada. De fato, em estudo realizado por Hosncha (2014), em uma área de Banhado no Rio Grande do Sul, a família Cyperaceae teve maior

riqueza de espécies nas margens do canal, estando entre as famílias predominantes nesta área.

As espécies mais importantes (VI) na área de estudo no ano de 2001 foram: *Heteranthera reniformis* Ruiz & Pav (28,65%) e as Cyperaceae *Cyperus virens* Michx (8,66%), *Cyperus lanceolatus* Poir. (7,77%), *Cyperus hermaphroditus* (Jacq.) Standl. (7,74%) e *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britton (7,68%), que representaram juntas 60,5% do total (TABELA 2).

Em 2012, predominaram em importância as espécies *Typha domingensis* Pers. (17,68%), *Hymenachne perambucensis* (Spreng.) Zuloaga (12,28%), *Mimosa oblonga* Benth. var. *oblonga* (11,25%), *Mikania micrantha* Kunth (8,36%) e *Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey.) Soják (5,58%), somando 55,15% do total e configurando um grupo totalmente diferente daquele registrado em 2001 (TABELA 2). Em 2019, o conjunto das cinco espécies com maior valor de importância na comunidade foi muito similar ao observado em 2012: *Typha domingensis* Pers. (16,26%), *Mimosa oblonga* Benth. var. *oblonga* (13,16), *Hymenachne perambucensis* (Spreng.) Zuloaga (11,41%), *Mikania micrantha* Kunth (9,11%) e *Neocabreria serrulata* (DC.) R. M. King & H. Rob. (9,04%), totalizando 58,98%.

TABELA 2 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DE UMA COMUNIDADE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE AFETADA POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO NO ANO 2000 NA REPAR, ARAUCÁRIA, PR PARA OS ANOS DE 2001 (FUNPAR, 2001, 2012 (BARDELLI-DA-SILVA, 2014) E 2019.

Espécie	(continua)										
	HMAX (m) *		FA (%)			CR (%)			VI (%)		
	2012	2019	2001	2012	2019	2001	2012	2019	2001	2012	2019
<i>Typha domingensis</i>	2,4	2,5	5,8	70,0	85,0	0,41	21,35	18,38	0,65	<u>17,68</u>	<u>16,26</u>
<i>Mimosa oblonga</i>	1,6	1,5	-	42,5	46,7	-	14,00	18,55	-	<u>11,25</u>	<u>13,16</u>
<i>Hymenachne perambucensis</i>	1,9	1,6	44,2	45,8	45,0	3,17	15,39	15,32	5,13	<u>12,28</u>	<u>11,41</u>
<i>Mikania micrantha</i>	1,2	1,3	-	54,2	68,3	-	5,88	6,85	-	<u>8,36</u>	<u>9,11</u>
<i>Neocabreria serrulata</i>	1,9	1,8	-	20,8	50,8	-	5,60	9,63	-	<u>4,89</u>	<u>9,04</u>
<i>Schoenoplectus californicus</i>	2,6	2,4	-	32,5	42,5	-	4,65	4,51	-	<u>5,58</u>	5,79
<i>Thalia geniculata</i>	2,7	1,6	-	15,8	15,8	-	5,74	5,97	-	4,46	4,30
Asteraceae 1	0,7	1,1	-	0,8	27,5	-	0,05	3,45	-	0,11	4,01
<i>Polygonum stelligerum</i>	1,7	1,2	-	14,2	24,2	-	2,11	3,32	-	2,47	3,67
<i>Cerastium rivulare</i>	0,6	1,4	-	5,8	18,3	-	0,85	2,34	-	1,01	2,69
<i>Equisetum giganteum</i>	1,6	1,4	-	6,7	25,8	-	0,36	1,06	-	0,85	2,68
<i>Cissus verticillata</i>	1,4	1,0	-	22,5	23,3	-	3,62	0,82	-	4,06	2,35
<i>Ludwigia sericea</i>	1,5	1,2	10,8	12,5	15,0	0,41	1,70	0,88	1,05	2,10	1,69
<i>Solanum laxum</i>	0,9	0,9	-	10,8	15,0	-	1,36	0,49	-	1,77	1,49
<i>Erianthus</i> sp.	-	2,0	-	-	3,3	-	-	2,02	-	-	1,29

<i>Christella dentata</i>	-	1,0	-	-	10,8	-	-	0,53	-	-	1,17
<i>Campuloclinium macrocephalum</i>	1,3	1,9	-	1,7	9,2	-	0,15	0,50	-	0,25	1,01
<i>Baccharis pseudomyriocephala</i>	1,5	1,4	-	10,8	7,5	-	2,72	0,71	-	2,45	0,98
<i>Solanum sp.</i>	-	1,2	-	-	8,3	-	-	0,47	-	-	0,93
<i>Ludwigia elegans</i>	1,7	1,3	5,0	2,5	6,7	0,14	0,36	0,63	0,47	0,43	0,87
<i>Polygonum persicaria</i>	1,7	1,2	29,2	9,2	6,7	0,88	1,82	0,55	2,79	1,83	0,83
<i>Lonicera japonica</i> **	1,2	1,2	-	8,3	5,8	-	1,57	0,38	-	1,62	0,68
<i>Coccocypselum lanceolatum</i>	-	0,5	-	-	6,7	-	-	0,15	-	-	0,64
<i>Polygonum sp.</i>	-	1,0	-	-	5,0	-	-	0,44	-	-	0,63
<i>Neoblechnum brasiliense</i>	1,0	1,0	-	3,3	4,2	-	0,15	0,44	-	0,41	0,56
<i>Juncus effusus</i>	-	1,2	-	-	5,0	-	-	0,08	-	-	0,46
<i>Escallonia megapotamica</i>	0,5	1,8	-	0,8	1,7	-	0,03	0,29	-	0,10	0,28
<i>Ludwigia peruviana</i>	-	1,1	10,8	-	1,7	0,35	-	0,28	1,02	-	0,28
<i>Oxypetalum tubatum</i>	1,2	1,5	-	1,7	2,5	-	0,10	0,03	-	0,22	0,22
<i>Baccharis vulneraria</i>	-	1,9	-	-	0,8	-	-	0,26	-	-	0,20
<i>Cestrum corymbosum</i>	-	1,8	-	-	0,8	-	-	0,21	-	-	0,17
<i>Galium equisetoides</i>	-	1,0	-	-	1,7	-	-	0,04	-	-	0,16
Poaceae 1	0,7	0,6	10,8	5,0	1,7	0,31	0,21	0,02	1,00	0,61	0,15
<i>Smilax campestris</i>	-	0,6	-	-	0,8	-	-	0,08	-	-	0,11
<i>Cyclanthera tenuifolia</i>	1,5	2,0	-	5,8	0,8	-	0,44	0,07	-	0,80	0,10
<i>Senecio juergensii</i>	-	2,1	-	-	0,8	-	-	0,06	-	-	0,10
<i>Cyclosorus interruptus</i>	0,8	1,2	-	5,0	0,8	-	0,41	0,04	-	0,71	0,09
<i>Eryngium pandanifolium</i>	2,0	1,7	-	0,8	0,8	-	0,46	0,02	-	0,32	0,08
<i>Emmeorrhiza umbellata</i>	0,4	1,0	-	2,5	0,8	-	0,10	0,03	-	0,30	0,08
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	-	1,7	-	-	0,8	-	-	0,03	-	-	0,08
<i>Ludwigia sp.</i>	-	0,4	-	-	0,8	-	-	0,01	-	-	0,07
<i>Mitracarpus hirtus</i>	-	1,0	-	-	0,8	-	-	0,01	-	-	0,07
<i>Hygrophila costada</i>	1,0	-	-	19,2	-	-	2,08	-	-	2,96	-
<i>Erechtites valerianifolius</i>	1,3	-	2,5	15,0	-	0,08	1,49	-	0,24	2,25	-
<i>Baccharis anomala</i>	1,0	-	-	11,7	-	-	1,41	-	-	1,88	-
<i>Boehmeria cylindrica</i>	1,0	-	0,8	9,2	-	0,2	1,08	-	0,15	1,46	-
<i>Paspalum exaltatum</i>	1,5	-	-	5,8	-	-	0,92	-	-	1,05	-
<i>Eleocharis montana</i>	1,3	-	56,7	6,7	-	5,21	0,39	-	7,15	0,86	-
Cyperaceae 1	1,0	-	-	5,0	-	-	0,23	-	-	0,62	-
<i>Ipomoea sp.</i>	1,2	-	-	3,3	-	-	0,31	-	-	0,49	-
<i>Chrysolaena pratenses</i>	1,6	-	-	1,7	-	-	0,21	-	-	0,27	-
<i>Valeriana salicariifolia</i>	1,0	-	-	1,7	-	-	0,21	-	-	0,27	-
<i>Cyperus hermaphroditus</i>	0,8	-	49,2	1,7	-	7,58	0,08	-	<u>7,74</u>	0,21	-
<i>Solanum flaccidum</i>	1,6	-	-	0,8	-	-	0,13	-	-	0,15	-
<i>Amauropelta decertava</i>	1,0	-	-	0,8	-	-	0,08	-	-	0,12	-
<i>Amphilophium crucigerum</i>	0,4	-	-	0,8	-	-	0,05	-	-	0,11	-
<i>Echinodorus grandiflorus</i>	0,3	-	-	0,8	-	-	0,05	-	-	0,11	-
<i>Conyza bonariensis</i>	1,8	-	-	0,8	-	-	0,03	-	-	0,10	-

<i>Jaegeria hirta</i>	0,6	-	-	0,8	-	-	0,03	-	-	0,10	-
<i>Polygonum meisnerianum</i>	0,5	-	-	0,8	-	-	0,03	-	-	0,10	-
<i>Stevia sp.</i>	0,5	-	-	0,8	-	-	0,03	-	-	0,10	-
<i>Heteranthera reniformis</i>	-	-	70,8	-	-	45,9	-	-	<u>28,65</u>	-	-
<i>Cyperus virens</i>	-	-	73,3	-	-	5,52	-	-	<u>8,66</u>	-	-
<i>Cyperus lanceolatus</i>	-	-	53,3	-	-	6,95	-	-	<u>7,77</u>	-	-
<i>Rhynchospora corymbosa</i>	-	-	50,0	-	-	7,36	-	-	<u>7,68</u>	-	-
<i>Mikania parodii</i>	-	-	46,7	-	-	6,23	-	-	6,86	-	-
<i>Eleocharis flavescens</i>	-	-	35,0	-	-	4,58	-	-	5,09	-	-
<i>Cyperus aspm</i>	-	-	18,3	-	-	1,23	-	-	2,06	-	-
<i>Cyperus sp.</i>	-	-	15,8	-	-	1,29	-	-	1,89	-	-
<i>Leersia hexandra</i>	-	-	9,2	-	-	1,27	-	-	1,38	-	-
<i>Cyperus hortensis</i>	-	-	6,7	-	-	0,25	-	-	0,67	-	-
<i>Juncus sp.</i>	-	-	6,7	-	-	0,23	-	-	0,66	-	-
<i>Echinochloa crusgalli</i>	-	-	2,5	-	-	0,1	-	-	0,25	-	-
<i>Eupatorium sp.</i>	-	-	2,5	-	-	0,1	-	-	0,25	-	-
<i>Heteranthera zosterifolia</i>	-	-	1,7	-	-	0,04	-	-	0,17	-	-
<i>Cyperus megapotamicus</i>	-	-	0,8	-	-	0,1	-	-	0,10	-	-
<i>Conyza sumatrensis</i>	-	-	0,8	-	-	0,04	-	-	0,07	-	-
<i>Sisyrinchium micrantha</i>	-	-	0,8	-	-	0,02	-	-	0,06	-	-
<i>Sonchus sp.</i>	-	-	0,8	-	-	0,02	-	-	0,06	-	-
<i>Steinchisma laxum</i>	-	-	0,8	-	-	0,02	-	-	0,06	-	-
TOTAIS	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100

FONTE: Sousa (2020).

(conclusão)

LEGENDA: HMAX: altura máxima; FA: frequência absoluta; CR: cobertura relativa; VI: valor de importância. As espécies foram ordenadas de forma decrescente pelo seu valor de VI em 2019. sublinhados os valores de importância das 5 espécies mais importantes de cada ano.

NOTA: * não foi registrada altura em 2001. ** espécie exótica invasora.

Entre as espécies predominantes em 2001, *Heteranthera reniformis* (Ponteridaceae) foi a mais expressiva, representando quase 29% do VI da comunidade, sendo que aparentemente beneficiou-se dos impactos ocorridos como consequência das medidas de contenção de petróleo na área (FUNPAR, 2001). De fato, Nielson et al. (2020) afirmam que estender as atividades de limpeza em áreas úmidas afetadas pelo derramamento de petróleo por mais de três ou quatro semanas pode aumentar o risco de invasão ou expansão de ervas daninhas na área atingida. *H. reniformis* é considerada uma espécie daninha, ruderal e oportunista (VARGAS; ROMAN, 2008), com grande produção de sementes que podem mover-se por enxurradas, quando tendem a quebrar sua dormência e aumentar a germinação (LORENZI, 2008). Suas sementes germinam apenas em solo saturado de água, no entanto, quando aumenta o nível da água, a planta desprende-se e flutua. Possui como meio de reprodução predominante a propagação vegetativa, e

como estratégia de colonização pode formar extensos conjuntos de plantas flutuantes (KISSMANN, 1997).

Assim como diversas espécies encontradas em 2012 e 2019, *H. reniformes*, possui alta capacidade de adaptação e resistência (LORENZI, 2008), no entanto só foi registrada em 2001, de forma que perdeu o espaço com o desenvolvimento da comunidade da várzea. Tal fato pode ter ocorrido devido ao seu menor porte, bem como por preferências adaptativas. De acordo com Kissmann (1997), *H. reniformis* é mais comumente encontrada nas margens de canais e outros corpos hídricos, locais onde pode obter luz e água em abundância. Esta espécie foi registrada em levantamento florístico por Bardelli-da-Silva (2014) em lugares com o nível do lençol freático mais próximo à superfície e submetidos às roçadas frequentes ao longo das manilhas.

A composição estrutural da comunidade amostrada em 2001 também apresentou considerável diferenciação em relação às amostragens posteriores pela grande expressividade da família Cyperaceae, cujas quatro espécies mais importantes alcançaram 31,8% (VI). Em contraste, nos anos de 2012 e 2019 apenas uma Cyperaceae, *Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey.) Soják, demonstrou alguma expressividade estrutural. A referida espécie conseguiu se estabelecer na comunidade possivelmente pelo seu maior porte, o que lhe confere condições de competir por espaço e insolação. De acordo com Silveira (2007), *S. californicus* é uma espécie de hábito pioneiro altamente produtivo, que se expande para áreas com coluna d'água de até 4 m de altura. É bastante tolerante à amplitude da oscilação anual do nível da água (ROSSI; TUR, 1976) e ao impacto constante da ondulação (SCHWARZBOLD, 1982).

Quanto às espécies com ocorrência nos três anos monitorados, *Hymenachne pernambucensis* (Poaceae) é a espécie com predominância estrutural relevante mais estável desde 2001, ainda que tenha dobrado seu VI nas medições posteriores e passado da 8ª para a 2ª e 3ª colocações. É particularmente notável sua estabilidade em termos de frequência, com valores intermediários em todas as ocasiões. Confirmando sua capacidade de colonização de ambientes aluviais, Kawakita et al. (2018) observaram manchas formadas por *H. pernambucensis* ao longo das várzeas do Alto Rio Paraná em áreas alagadas e sujeitas a inundação periódica. Já em levantamento realizado por Souza et al. (2004) na mesma região, a espécie destacou-se como a espécie nativa mais frequente (61,9%) e dominante.

Typha domingensis, que em 2001 ocupava apenas a 17ª colocação, com FA e VI insignificantes, se destacou como a espécie mais importante nos levantamentos posteriores. Durante o primeiro levantamento foi relatada a presença mais abundante de *T. domingensis* em locais não afetados pelo derramamento de petróleo, próximos às áreas mais degradadas (FUNPAR, 2001), levando a inferir que os impactos ocorridos na várzea podem ter proporcionado um ambiente favorável à outras espécies nessa fase de reocupação e que *T. domingensis* apenas não teve oportunidade de se estabelecer consistentemente até a época do primeiro levantamento, visto que cinco anos após o incidente, Pavanelli (2007) verificou a predominância de *Typha* spp. (principalmente *T. domingensis*) na área atingida. *T. domingensis* é uma espécie rizomatosa que em geral forma densos agrupamentos em muitos ecossistemas aquáticos continentais do Brasil (HOEHNE, 1948). Quando presente, frequentemente, é uma espécie dominante (IRGANG, 1999).

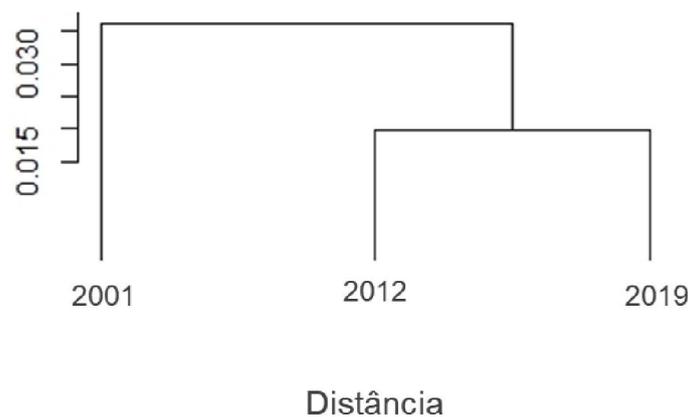
As espécies *Ludwigia elegans* e *Ludwigia sericea* permaneceram com valores de FA e VI estáveis, similares e baixos em todas as leituras, demonstrando um caráter de ocorrência esparsa. Os frutos e sementes de *Ludwigia* flutuam em áreas alagadas (BARRETT et al., 1993, SANTAMARIA, 2002), podendo ser facilmente dispersos, permitindo ampliar áreas colonizadas (RUAUX et al., 2009). Segundo Bedoya e Madrinán (2015), o gênero é um modelo para o estudo da evolução dos caracteres que respondem às pressões impostas pelos ecossistemas aquáticos em eudicotiledôneas, bem como nas plantas aquáticas em geral.

Polygonum persicaria apresentou uma considerável redução na sua frequência absoluta e no VI de 2001 para 2012 e 2019, provavelmente por perder espaço para espécies de maior porte e vigor. *P. persicaria* é uma planta enraizada e emergente, altamente plástica, medianamente frequente no sul do Brasil, ocupando principalmente margens de córregos, lagoas, baixadas úmidas e canais de drenagem (LORENZI, 2008).

Com relação à diversidade de espécies, em 2019 foram encontrados valores de 2,54 para o índice de diversidade de Shannon (H') e 0,68 para a equabilidade (J'). Embora com valores um pouco menores, são semelhantes aos encontrados por Bardelli-da-Silva (2014), que registrou diversidade (H') de 2,71 e equabilidade (J') de 0,71 para a mesma área em 2012. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Boldrini et al. (2008) em uma área úmida no Rio Grande do Sul sem contaminação por petróleo ($H' = 2,97$ e $J' = 0,68$),

Na análise de agrupamento (FIGURA 7) foi evidenciada a formação de dois grupos distintos. De fato, os índices de similaridade de Jaccard entre o ano de 2001 e os anos posteriores foram destacadamente baixos, respectivamente 0,15 e 0,11. Já entre os anos de 2012 e 2019 o índice de similaridade foi mais elevado, igual a 0,43.

FIGURA 8 – DENDROGRAMA DO COEFICIENTE DE JACCARD INCLUINDO LEVANTAMENTOS FITOSSOCIOLÓGICOS EM COMUNIDADE DE VÁRZEA DA REPAR REALIZADOS EM 2001, 2012 E 2019.



FONTE: Sousa (2020).

Nota-se que, quando consideradas as espécies de maior importância estrutural, não houve grande diferença na comunidade vegetal entre os dois últimos anos avaliados (2012 e 2019), o que leva a considerar que em 2012 a comunidade já havia atingido certo grau de equilíbrio dinâmico, visto que em 2019 a composição fitossociológica do grupo predominante não se alterou substancialmente.

No entanto, a riqueza alcançada por esta comunidade nos anos de 2012 e 2019 ainda é relativamente incipiente, pois seus valores representam em geral pouco mais da metade da riqueza registrada em outros levantamentos fitossociológicos de comunidades herbáceas de áreas úmidas não afetadas por petróleo no sul do Brasil (BOLDRINI et al., 2008; KOZERA, 2008; KAFER et al., 2011). É provável que algumas espécies de ocorrência mais esparsa possam não ter sido registradas nas amostragens de 2012 e 2019 por questões de sazonalidade (BARDELLI-DA-SILVA, 2014). Esta pode ter sido também a razão da existência de razoável número de espécies exclusivas registrado em cada inventário realizado.

Por outro lado, é preciso ressaltar em levantamento florístico realizado na mesma área de estudo, Bardelli-da-Silva (2014) registrou a ocorrência de 221 espécies, riqueza elevada quando comparado a de outros levantamentos florísticos realizados em áreas úmidas do Sul do País que não tem histórico de distúrbio por derramamento de petróleo (SPELLMEIER et al., 2009; MAGALHAES et al., 2013; SILVA et al., 2013; HOSNCHA, 2014).

As famílias com maiores riquezas de espécies listadas ao longo dos anos monitorados (2001, 2012 e 2019) foram Cyperaceae, Asteraceae e Poaceae. Estas também foram as famílias com maiores riquezas em outros estudos que abordaram comunidades herbáceas de áreas úmidas (BOLDRINI et al., 2008; KOZERA, 2009; SPELLMEIER et al., 2009; KAFER et al., 2011; MAGALHAES et al., 2013), destacando-se como as famílias mais importantes da estrutura da vegetação dos campos de várzea (KOZERA, 2009). O mesmo ocorreu quanto ao hábito mais representativo, que foi o herbáceo para todas as áreas, o que é esperado devido às condicionantes de hidromorfia. No entanto, é relevante considerar que, ao longo do desenvolvimento da comunidade, ocorreu um aumento gradativo da importância estrutural de espécies sublenhosas a lenhosas (trepadeiras, subarbustos e arbustos), passando de um VI de 6,86% em 2001 a 35,32% em 2019.

De acordo com Furch & Junk (1997), a contaminação por petróleo em áreas alagáveis representa um sério risco para as espécies ali presentes, devido a ciclagem de nutrientes depender do pulso de inundação, fazendo com que os nutrientes e também os poluentes, a cada ciclo sejam novamente reincorporados ao ambiente. No entanto, apesar da contaminação por petróleo ocorrida na várzea ter comprometido por um tempo a reestruturação da comunidade, esta demonstrou uma certa resiliência ao distúrbio e uma tendência inicial de estabilidade, especialmente no âmbito da composição sociológica das espécies de maior importância estrutural.

3.4 CONCLUSÕES

Foram constatadas mudanças na composição florística e estrutural da comunidade de várzea entre o ano de 2001, pouco após o distúrbio, e os anos de 2012 e 2019, sendo observado aumento da diversidade de espécies e de formas de vida, fatores inerentes ao processo de sucessão ocorrente em uma vegetação pioneira.

O grupo de espécies de maior relevância estrutural manteve-se estável entre os anos de 2012 e 2019, sendo detectado também um maior nível de similaridade florística entre as duas amostragens, ainda que com razoável número de espécies de ocorrência exclusiva em cada ano.

Após 19 anos do incidente, a comunidade de várzea apresentou uma tendência inicial de estabilidade, especialmente no âmbito da composição sociológica das espécies de maior importância estrutural, demonstrando certa resiliência ao distúrbio. A estabilidade deste grupo de espécies reflete a evolução dos estádios sucessionais do ecossistema e o grau de colonização das espécies então estabelecidas.

4 CAPÍTULO II – ESTRATÉGIAS FUNCIONAIS DE COMUNIDADES HERBÁCEO/ARBUSTIVAS EM ÁREA DE VÁRZEA ATINGIDA POR DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO

Resumo

O objetivo do estudo foi verificar possíveis diferenciações das estratégias funcionais de espécies vegetais pertencentes a uma Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre (várzea) atingida por um vazamento de petróleo ocorrido há 19 anos. A área de estudo está localizada no município de Araucária – PR, associada à bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, porção centro-sul do Primeiro Planalto Paranaense. Foi realizado um levantamento fitossociológico, bem como de atributos funcionais das espécies (Altura máxima - HMAX, Área foliar - AF, Área foliar específica - AFE, Conteúdo de matéria seca foliar - CMSF, Espessura foliar - EF, Comprimento específico da raiz - CER, Conteúdo de matéria seca da raiz - CMSR e Síndrome de dispersão - SD) na área atingida pelo contaminante e em área testemunha. O levantamento resultou em uma riqueza de 17 espécies, reunidas em 16 gêneros e 11 famílias na Área Contaminada, e de 21 espécies, distribuídas em 16 gêneros e 12 famílias na Área Testemunha, sugerindo a formação de dois grupos relativamente distintos sob o aspecto fitossociológico. Quanto aos atributos funcionais, apenas a espessura foliar diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre as comunidades, sendo mais elevada na Área contaminada. As espécies mais abundantes em ambas as áreas apresentaram diferenças significativas entre as áreas. Na Área Contaminada, *Mimosa oblonga* apresentou maior CER, *Neocabreria serrulata* obteve maiores EF e CMSF e menor AFE, e *Typha domingensis* apresentou menores AF e HMAX, e maior AFE. A reduzida variação nos atributos funcionais das espécies entre as comunidades avaliadas revela uma tendência de funções e estratégias ecológicas semelhantes. Por outro lado, a detecção de diferenças significativas de atributos entre as áreas para espécies de maior abundância pode refletir capacidades distintas de respostas adaptativas às circunstâncias impostas pelo ambiente.

Palavras-chave: Atributos funcionais. Distúrbio. Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre.

Abstract

The aim of this study was to verify possible differences in the functional strategies of plant species in a floodplain vegetation affected by an oil spill 19 years ago. The study area is located in the municipality of Araucária - PR, within the watershed of the Iguaçu River, center-south portion of the First Paraná Plateau. A phytosociological survey was carried out, as well as the study of the functional attributes of the species (Maximum height - HMAX, Foliar area - AF, Specific foliar area - AFE, Foliar dry matter content - CMSF, Foliar thickness - EF, Specific root length - CER, Root dry matter content - CMSR and Dispersion syndrome - SD) in the area affected by the contaminant and in the check area. The survey resulted in a

richness of 17 species, gathered in 16 genera and 11 families in the Contaminated Area, and of 21 species, distributed in 16 genera and 12 families in the Check Area, suggesting the formation of two relatively distinct groups under the phytosociological aspect. Regarding functional attributes, only the foliar thickness differed significantly among the communities, being higher in the Contaminated Area. The most abundant species showed significant differences between the areas. In the Contaminated Area, *Mimosa oblonga* presented higher CER, *Neocabreria serrulata* had higher PE and WMSF and lower PE, and *Typha domingensis* presented lower PE and HMAX, and higher PE. The reduced variation in functional attributes reveals a tendency of similar functions and ecological strategies of the species. On the other hand, the detection of significant differences in attributes between areas for species of higher abundance may reflect distinct capacities of adaptive responses to circumstances imposed by the environment.

Key words: Functional attributes. Disturbance. Floodplain vegetation.

4.1 INTRODUÇÃO

A situação energética do Brasil sempre foi privilegiada pelo leque de recursos disponíveis, tanto fósseis quanto renováveis, e graças a aceleração das pesquisas no setor petrolífero, novos efeitos multiplicadores têm ocorrido na indústria parapetroléira (PIQUET, 2012). Em 2017, o parque de refino brasileiro contava com 17 refinarias, com capacidade para processar aproximadamente 2,4 milhões de barris/dia (COSTA; SCHMIDT, 2019).

Em contraponto aos aspectos positivos do aumento da oferta interna de energia estão os riscos e impactos ambientais na região produtora do insumo energético, envolvendo a possibilidade de danos ambientais e sociais irreparáveis (RENK, 2016). A atividade petrolífera é considerada um dos segmentos produtores de energia mais poluidores dos tempos atuais (SEIXAS; RENK, 2011).

A contaminação do solo por petróleo e substâncias derivadas pode resultar em amplas mudanças físicas, químicas e biológicas que podem ser claramente visíveis no estado de saúde das plantas (LISTE; FELGENTREU, 2006; WYSZKOWSKI; ZIÓŁKOWSKA, 2008). Estudos que abordaram a influência desse tipo de contaminante sobre diferentes tipos de espécies e ecossistemas, em grande parte relataram ter obtido resultados negativos em relação a riqueza e ao crescimento de espécies, redução nas dimensões foliares, no número de rebrotamentos, no desenvolvimento radicular e da parte aérea, assim como na taxa fotossintética, entre outros (BAEK et al., 2004; MARANHO et al., 2006; LOPES & PIEDADE, 2010; RUSIN et al., 2015; HAN et al., 2016; GHEORGHE et al., 2018).

Após contaminação do meio a vegetação pode ser afetada por um longo período e essas perturbações não são determinadas apenas pela quantidade de petróleo e taxas de retenção, mas também por mudanças nas interações competitivas e consequentes mudanças na estrutura da vegetação (GHEORGHE et al., 2018).

De forma a avaliar quais processos estão contribuindo para a estruturação e manutenção das comunidades, a ecologia funcional busca entender a relação dos atributos funcionais com o ambiente e o desempenho das espécies nas comunidades, definindo as estratégias adotadas pelas espécies a fim de se estabelecer no ambiente (DÍAZ; CABIDO, 2001; DÍAZ et al., 2007).

Várias características, consideradas chave, têm sido propostas para avaliar o desempenho adaptativo de plantas (POORTER et al., 2008), por estarem relacionadas com a capacidade de se estabelecer, crescer e reproduzir (WESTBOY 1998; MARTINEZ-VILALTA et al., 2010) e por serem fáceis de medir, como, por exemplo, a área foliar, a densidade básica da madeira e a altura máxima, entre outros atributos (CORNELISSEN et al., 2003; KRAFT et al., 2008). As características funcionais influenciam a capacidade de sobrevivência dos organismos e resumem as inúmeras formas pelas quais estes se beneficiam de um determinado recurso para o seu desenvolvimento (VIOLLE et al., 2007).

Com base nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo comparar as estratégias funcionais de uma comunidade vegetal de Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre 19 anos após derramamento de petróleo com uma comunidade vegetal adjacente livre de contaminação por petróleo, por meio da caracterização fitossociológica e de atributos funcionais das espécies levantadas em ambas as áreas. Como hipótese norteadora considerou-se que o distúrbio de contaminação por petróleo causou modificações florísticas, estruturais e funcionais na comunidade de várzea.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O ambiente estudado está localizado no interior da propriedade da Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR, unidade da Petróleo Brasileiro S. A.

(PETROBRAS), no município de Araucária, PR, sul do Brasil (FIGURA 8), próximo às coordenadas 25° 35' 12" S e 49° 20' 45" W. Pertence à bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, porção centro-sul do Primeiro Planalto Paranaense, a uma altitude média de 890 m s.n.m.

A vegetação local se enquadra como Formação Pioneira de Influência Flúvio-Lacustre (RODERJAN et al., 2002), genericamente denominada de várzea e associada a solos hidromórficos do tipo Gleissolo (MELO, 2006). De acordo com a classificação de Köppen, a região está condicionada ao clima Cfb, com temperatura média anual de 18°C e precipitação média anual de aproximadamente 1460 mm (IAPAR, 2000).

Para o presente estudo foram analisadas duas áreas amostrais: Área Contaminada, atingida por derramamento de petróleo no ano de 2000; Área Testemunha, adjacente e livre de contaminação por petróleo. Dentro da área atingida pelo derramamento de petróleo foi escolhida para o estudo a porção que apresentou as maiores concentrações (4.000 a 6.400 mg/kg de solo) de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), conforme levantamento realizado por Bardelli-da-Silva (2014).

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE NO MUNICÍPIO DE ARAUCÁRIA, PR, BRASIL.



FONTE: Sousa (2020).

4.2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para verificar a concentração atual de hidrocarbonetos totais de petróleo foram realizadas coletas de solo em ambas as áreas. Na Área Contaminada pelo vazamento foram distribuídos sistematicamente 10 pontos de coleta, enquanto na Área Testemunha foram distribuídos três pontos de coleta, também de forma sistemática.

Para a coleta de amostras de solo foi retirada a camada orgânica superficial e posteriormente efetuada a gradagem, entre 20 e 40 cm, profundidade onde se apresenta maior concentração de raízes. As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro identificados e posteriormente encaminhadas para a realização da análise de TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo) (FIGURA 9). A análise identificou que na área contaminada a concentração de TPH média se manteve dentro do intervalo registrado por Bardelli-da-Silva (2014), enquanto na área testemunha a concentração média ficou abaixo da faixa de detecção (< 30 mg/kg de solo).

FIGURA 10 – COLETA DE SOLO EFETUADA ENTRE 20 E 40 CM DE PROFUNDIDADE DO SOLO PARA POSTERIOR ANÁLISE DE TPH.



FONTE: Sousa (2019).

LEGENDA: A: aspecto de gradagem; B: solo armazenado em recipiente de vidro.

Foi efetuada amostragem fitossociológica para análise comparativa de possíveis diferenciações florísticas e estruturais entre as áreas amostrais. Na Área Contaminada foram instaladas 20 parcelas de 1x1 m, associadas a sete pontos

amostrais, distribuídos a cada dois metros em duas transeções paralelas (FIGURA 10). Na Área Testemunha também foram instaladas 20 parcelas de 1x1 m associadas a sete pontos amostrais ao longo de uma transeção, com intervalo de cinco metros entre cada ponto (FIGURA 10).

Dentro de cada parcela, delimitada por uma moldura quadrada de alumínio, foram registradas todas as espécies presentes e realizada a estimativa do seu percentual de cobertura e da altura máxima, aplicando o procedimento amostral utilizado por Caetano (2003). Foram coletados exemplares para posterior determinação e tombamento no Herbário Escola de Florestas Curitiba (EFC).

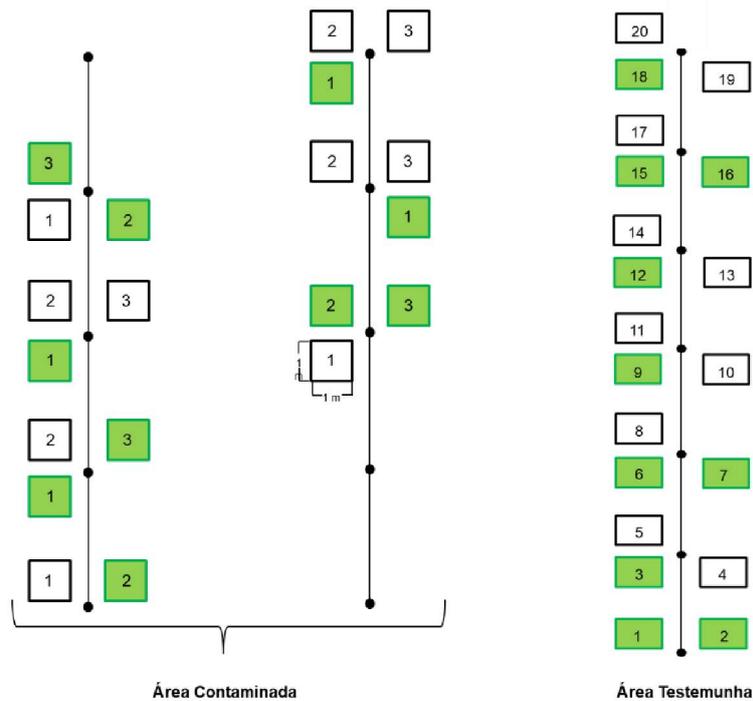
O material coletado foi herborizado no Laboratório de Dendrologia e Conservação da Flora da Universidade Federal do Paraná, e identificado por meio de comparações com exsicatas disponíveis no Herbário EFC, bem como por meio de consulta à literatura especializada e ao banco de dados eletrônicos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2019). A organização dos taxa seguiu os sistemas Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e Pteridophyte Phylogeny Group (PPG, 2016).

4.2.2.1 Atributos funcionais

Para a avaliação de atributos funcionais das espécies, dentre as unidades amostrais instaladas para a caracterização fitossociológica, foram selecionadas 10 parcelas em cada uma das áreas avaliadas (FIGURA 10). Na Área Contaminada as parcelas foram estabelecidas de forma ligeiramente mais concentrada, associadas aos pontos com maiores concentrações de TPH (2057.1 a 11040.1 mg/kg), de acordo com as análises de solo. Na Área Testemunha, os valores de TPH encontrados foram <30.0 mg/kg de solo, confirmando que a área não foi atingida pelo vazamento de petróleo. Sempre que possível, foram amostrados indivíduos de todas as espécies presentes nas parcelas (CARLUCCI et al., 2014), totalizando 15 espécies em cada área, utilizadas para a realização das análises entre áreas. Dentre essas, foram selecionadas três espécies que tiveram ocorrência mais abundante em ambas as áreas para verificar possíveis variações em nível de espécies comuns dos ambientes. Algumas espécies registradas no levantamento fitossociológico não tiveram material coletado por não terem sido encontradas na data da coleta. Dentre as espécies que tiveram material vegetal coletado, quando este não estava

disponível em quantidade suficiente dentro das parcelas, foi realizada complementação com coleta de indivíduos próximos às parcelas (máximo de 1 m de distância), sob as mesmas condições ambientais.

FIGURA 11 – CROQUI DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS PARA AMOSTRAGEM FITOSSOCIOLÓGICA (TODAS AS PARCELAS) E DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS (EM VERDE) NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E ÁREA TESTEMUNHA, EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2019).

Os métodos empregados neste estudo seguiram o protocolo elaborado por Pérez-Harguindeguy et al. (2013). Os atributos funcionais foram obtidos preferencialmente de plantas bem desenvolvidas, com aparência saudável, e livres de ataques por herbívoros ou patógenos.

Para avaliar a diversidade funcional das comunidades de várzea, foram utilizados atributos foliares: Área foliar (AF), Área foliar específica (AFE), Conteúdo de matéria seca foliar (CMSF) e Espessura foliar (EF); atributos de raiz: Comprimento específico da raiz (CER) e Conteúdo de matéria seca da raiz (CMSR); e Altura máxima dos indivíduos (HMAX) e Síndrome de dispersão (SD).

Atributos foliares

Para medir as características foliares foi coletado, quando possível, um total de 10 folhas (com raque e pecíolo incluídos) por espécie e por parcela. Para as espécies com folhas muito longas, sempre que possível, foram coletadas cinco folhas por espécie por parcela. Logo após a coleta as amostras foram acondicionadas em envelope plástico (zip lock) com a identificação de cada espécie por parcela (FIGURA 11).

FIGURA 12 – FOLHAS COLETADAS PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E ÁREA TESTEMUNHA, EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2019).

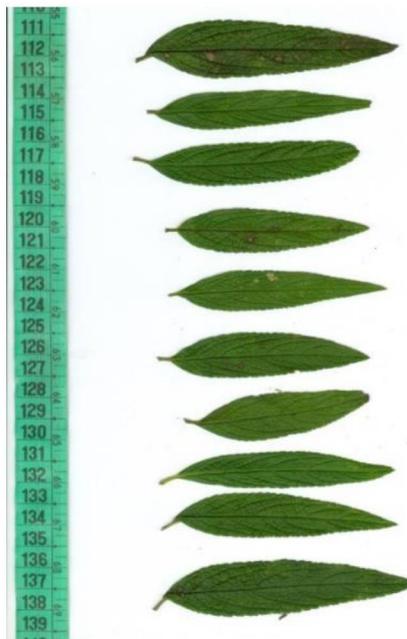
Em laboratório, as amostras foram armazenadas úmidas em um refrigerador por não ser possível a realização de todos os procedimentos laboratoriais no mesmo dia da coleta. As folhas foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g para determinação da massa da folha hidratada. Em seguida, foi determinada a espessura foliar com o auxílio de um paquímetro digital sempre posicionado no terço médio da folha e evitando-se a inclusão da nervura central na medição.

Para que fosse possível calcular os valores dos demais atributos (AF, AFE e CMSF), as folhas tiveram sua imagem digitalizada, sempre com a presença de uma régua para a posterior definição da escala no software imageJ (SCHNEIDER et al., 2012), utilizado para a medição da AF (FIGURA 12). As folhas maiores ou recurvadas foram seccionadas em pedaços menores (5 – 10 cm) para facilitar o

processo de digitalização e foram escaneadas quantas vezes necessário e posteriormente tiveram os valores das partes somados.

Posteriormente, as folhas foram colocadas em sacos de papel identificados por espécie por parcela e armazenadas em estufa a 70°C por um período de 72h para determinação da massa seca, também em balança analítica com precisão de 0,001 g

FIGURA 13 – FOLHAS DE *Neocabreria serrulata* (DC.) R. M. KING & H. ROB COLETADAS PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS EM REMANESCENTE DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE CONTAMINADO POR PETRÓLEO.



FONTE: Sousa (2019).

Atributos de raiz

As raízes foram preferencialmente coletadas dos mesmos indivíduos utilizados para a coleta de folhas, priorizando a coleta da raiz inteira, porém para a maioria das espécies só foi possível coletar uma parte da raiz. As raízes foram armazenadas em sacos plásticos (zip lock) com a identificação de cada espécie por parcela.

Após a coleta, as amostras de raízes, umedecidas, também foram armazenadas em um refrigerador por não ser possível a realização de todos os procedimentos laboratoriais no mesmo dia da coleta. Em seguida, as raízes foram

lavadas com o auxílio de uma mangueira de jato controlado e peneiras de malha fina para evitar a perda das raízes mais finas, e enxaguadas em recipientes com água para remover partículas grosseiras de solo (FIGURA 13).

As raízes lavadas foram tingidas em água contendo violeta genciana para melhor visualização das imagens digitalizadas. Após serem tingidas, as raízes foram secas com papel toalha (FIGURA 13).

FIGURA 14 – PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS REALIZADOS PÓS COLETA DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS - 1



FONTE: Duarte; Sousa (2019).

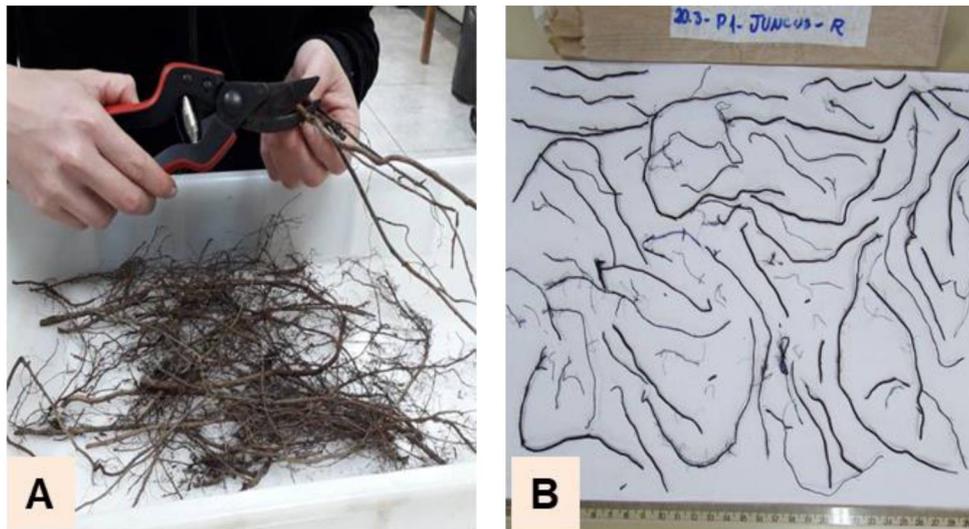
LEGENDA: A: lavagem de raiz com o auxílio de uma mangueira de jato controlado; B e C: raiz sendo tingida com violeta genciana e seca em papel toalha, respectivamente.

Em seguida, foi separada uma fração padrão de cada amostra de raiz para fazer as medições, de acordo com o protocolo de PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. (2013). Cada fração de raiz teve seu peso verificado em balança analítica com precisão de 0,001 g e posteriormente as raízes foram fotografadas com o auxílio de uma câmera digital acoplada a um suporte fixo, sempre com a presença de uma régua para a posterior definição da escala no software Safira (JORGE;

RODRIGUES, 2008), utilizado para a medição do comprimento e diâmetro (FIGURA 14).

Após a digitalização, as raízes foram colocadas em estufa para secagem a 60°C por um período de 48 horas, e novamente pesadas após esse processo (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

FIGURA 15 - PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS REALIZADOS PÓS COLETA DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS - 2



FONTE: Duarte; Sousa (2019).

LEGENDA: A: separação de raízes; B: raízes de *Juncus effusus* L. dispostas sobre folha A4 para serem fotografadas.

Síndrome de Dispersão

As guildas de dispersão das espécies foram avaliadas por meio de revisão de literatura, de acordo com a classificação proposta por Van Der Pijl (1982), classificando as espécies em anemocóricas (tem o vento como agente dispersor), autocóricas (as sementes são dispersas pela própria planta) ou zoocóricas (dispersas por animais).

4.2.3 ANÁLISE DOS DADOS

4.2.3.1 Estudo fitossociológico

Para cada espécie foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos: frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), cobertura absoluta (CA), cobertura relativa (CR) e valor de importância (VI) (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; BOLDRINI; MIOTTO, 1987; FELFILI; REZENDE, 2003). Além desses parâmetros, foi calculada a diversidade, adotando o índice de diversidade de Shannon (H') e a uniformidade por meio da equabilidade de Pielou (J').

A similaridade entre as áreas foi analisada com o auxílio do pacote vegan (OKSANEN et al., 2019) do ambiente de programação estatística R (R CORE TEAM, 2019), por meio de um escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) com dois eixos utilizando uma matriz de abundância (Bray-Curtis) com 999 permutações. Em seguida foi realizada uma ANOVA de permutação não paramétrica (PERMANOVA).

4.2.3.2 Atributos funcionais

Para cada parcela foram determinados os valores médios dos atributos funcionais, ponderados para a comunidade (CWM). Os valores de CWM representam os valores de atributos funcionais mais prováveis de serem observados para uma determinada espécie, a partir de um indivíduo selecionado ao acaso (GARNIER; NAVAS, 2012), representado pela fórmula:

$$CWM = \sum_{i=1}^S W_i . X_i \quad (1)$$

Onde: S é o número total de espécies; W_i é a abundância da i-ésima espécie; X_i é o valor da característica funcional da i-ésima espécie.

Para comparar as médias dos parâmetros funcionais morfológicos das espécies entre as áreas estudadas, foram realizados testes-T para cada uma das variáveis separadamente. As suposições do teste-T estatístico foram checadas por meio do teste de normalidade (Shapiro-Wilk).

Para detectar o padrão de variação funcional das espécies e determinar quais atributos funcionais contribuíram mais para essa ordenação, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para todas as características funcionais,

utilizando uma matriz de atributos funcionais com os valores médios para cada atributo por parcela.

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente de programação estatística R (R CORE TEAM, 2019), utilizando os pacotes car (FOX; WEISBERG, 2019), devtools (WICKHAM et al., 2019), factoextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2019), FactoMineR (LE et al., 2008), ggplot2 (WICKHAM, 2016), sciplot (MORALES, 2019) e vegan (OKSANEN et al., 2019).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Área Contaminada foram registradas 17 espécies, reunidas em 16 gêneros e 11 famílias, dentre essas, duas pteridófitas (Blechnaceae e Equisetaceae). As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (6) e Onagraceae (2). O gênero com maior riqueza foi Ludwigia (2) (TABELA 3).

Na Área Testemunha, a amostragem detectou 21 espécies, das quais cinco foram identificadas somente até o nível de família e uma ao nível de gênero. Foram registrados 16 gêneros e 12 famílias. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (8) e Poaceae (2).

Quanto aos hábitos das espécies nas duas áreas avaliadas, as herbáceas representaram 48,15% (13) do total de táxons, as subarborescentes 37,04% (10), as trepadeiras 11,11% (3) e as arbustivas 3,70% (1) (TABELA 3).

TABELA 3 – ESPÉCIES REGISTRADAS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO (AC) E NA ÁREA TESTEMUNHA (AT), EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.

(continua)

GRUPO / FAMÍLIA	ESPÉCIE	ÁREA	FB	EFC
PTERIDÓFITAS				
Blechnaceae	<i>Neoblechnum brasiliense</i> (Desv.) Gasper & V.A.O. Dittrich	AC	Arb	11086
Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L.	AC / AT	He	10753
Thelypteridaceae	<i>Christella dentata</i> (Forssk.) Brownsey & Jermy	AT	He	11115
ANGIOSPERMAS				
Apocynaceae	<i>Oxypetalum tubatum</i> Malme	AT	Tr	11095
Asteraceae	<i>Baccharis pseudomyriocephala</i> Malag.	AC / AT	Sub	10746
	<i>Campuloclinium macrocephalum</i> (Less.) DC.	AC	Sub	10757
	<i>Conoclinium</i> sp.	AC	Sub	11117
	<i>Erechtites valerianifolius</i> (Wolf) DC.	AC	Sub	10743
	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	AC / AT	He	10742
	<i>Neocabreria serrulata</i> (DC.) R. M. King & H. Rob.	AC / AT	Sub	11034

	<i>Senecio juergensii</i> Mattf.	AT	He	18196
	Asteraceae 2	AT	Sub	-
	Asteraceae 3	AT	Sub	-
	Asteraceae 4	AT	He	-
	Asteraceae 5	AT	Sub	-
Caryophyllaceae	<i>Cerastium rivulare</i> Cambess.	AC	He	10698
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C. A. Mey.) Soják	AC	He	10807
Fabaceae	<i>Mimosa oblonga</i> Benth. var. <i>oblonga</i>	AC/ AT	Sub	11102
Juncaceae	<i>Juncus effusus</i> L.	AC/ AT	He	10683
Onagraceae	<i>Ludwigia elegans</i> (Cambess.) H. Hara	AC	Sub	9904
	<i>Ludwigia sericea</i> (Cambess) H. Hara	AC / AT	He	10740
Poaceae	<i>Hymenachne pernambucensis</i> (Spreng.) Zuloaga	AC / AT	He	10193
	Poaceae 1	AT	He	-
Polygonaceae	<i>Polygonum</i> sp.	AT	He	-
Rubiaceae	<i>Galium equisetoides</i> (Cham. & Schltdl.) Standl.	AT	Tr	10809
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	AC / AT	He	11024
Vitaceae	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E. Jarvis	AC / AT	Tr	10760

FONTE: Sousa (2020).

(conclusão)

LEGENDA: FB: forma biológica - Arb: arbustiva; He: herbácea; Sub: subarbustiva; Tr: trepadeira; e EFC: Registro no Herbário EFC.

As espécies mais importantes na Área Contaminada, representando 66,72% do índice de valor de importância (VI) total, foram: *Mimosa oblonga* Benth. var. *oblonga* (18,27%), *Typha domingensis* Pers. (15,78%), *Neocabreria serrulata* (DC.) R. M. King & H. Rob. (12,24%), *Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey.) Soják (10,46%) e *Cerastium rivulare* Cambess. (9,97%) (TABELA 4).

Na Área Testemunha, predominaram em importância (VI) as espécies *M. oblonga* (37,29%), *T. domingensis* (14,32%), *N. serrulata* (11,16%), *Equisetum giganteum* L. (8,58%) e *Asteraceae 3* (4,32%), representando um VI total de 75,67% (TABELA 5).

TABELA 4 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DE ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.

ESPÉCIE	N	HMAX (m)	FREQUÊNCIA		COBERTURA		VI (%)
			FA	FR (%)	CA	CR (%)	
<i>Mimosa oblonga</i>	15	1,47	75,00	10,34	386	26,19	18,27
<i>Typha domingensis</i>	20	2,17	100,00	13,79	262	17,77	15,78
<i>Neocabreria serrulata</i>	12	1,70	60,00	8,27	239	16,21	12,24
<i>Schoenoplectus californicus</i>	20	2,63	100,00	13,79	105	7,12	10,46
<i>Cerastium rivulare</i>	18	0,94	90,00	12,41	111	7,53	9,97
<i>Hymenachne pernambucensis</i>	7	1,81	35,00	4,83	113	7,67	6,25
<i>Mikania micrantha</i>	12	1,26	60,00	8,27	42	2,85	5,56
<i>Conoclinium</i> sp.	9	1,19	45,00	6,21	65	4,41	5,31
<i>Juncus effusus</i>	8	1,30	40,00	5,52	8	0,54	3,03
<i>Baccharis pseudomyriocephala</i>	5	1,56	25,00	3,45	27	1,83	2,64
<i>Campuloclinium macrocephalum</i>	3	1,27	15,00	2,07	46	3,12	2,59
<i>Ludwigia sericea</i>	4	1,60	20,00	2,76	30	2,03	2,40
<i>Cissus verticillata</i>	4	1,15	20,00	2,76	8	0,54	1,65
<i>Neoblechnum brasiliense</i>	3	0,60	15,00	2,07	16	1,08	1,58

<i>Ludwigia elegans</i>	2	1,30	10,00	1,38	11	0,74	1,06
<i>Equisetum giganteum</i>	2	1,55	10,00	1,38	3	0,20	0,79
<i>Erechtites valerianifolius</i>	1	1,20	5,00	0,69	2	0,13	0,41
TOTAIS			725	100	1474	100	100

FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: N: número de repetições das espécies; HMAX: altura máxima; FA: frequência absoluta; FR: frequência relativa; CA: cobertura absoluta; CR: cobertura relativa; VI: valor de importância.

TABELA 5 – PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DA ÁREA TESTEMUNHA DE FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.

ESPÉCIE	N	HMAX (m)	FREQUÊNCIA		COBERTURA		
			FA	FR (%)	CA	CR (%)	VI (%)
<i>Mimosa oblonga</i>	20	1,49	100,00	16,13	864	58,46	37,29
<i>Typha domingensis</i>	20	2,59	100,00	16,13	185	12,52	14,32
<i>Neocabrera serrulata</i>	14	1,63	70,00	11,29	163	11,03	11,16
<i>Equisetum giganteum</i>	15	1,56	75,00	12,10	75	5,07	8,58
Asteraceae 3	5	1,76	25,00	4,032	68	4,60	4,32
<i>Baccharis pseudomyriocephala</i>	8	1,37	40,00	6,45	29	1,96	4,21
Poaceae 1	9	0,85	45,00	7,26	9	0,61	3,93
<i>Cissus verticillata</i>	7	1,03	35,00	5,64	18	1,22	3,43
<i>Oxypetalum tubatum</i>	5	1,00	25,00	4,03	5	0,34	2,18
<i>Mikania micrantha</i>	4	1,22	20,00	3,22	9	0,61	1,92
<i>Christella dentata</i>	3	1,00	15,00	2,42	11	0,74	1,58
<i>Juncus effusus</i>	3	1,57	15,00	2,42	3	0,20	1,31
<i>Hymenachne pernambucensis</i>	1	2,00	5,00	0,81	20	1,35	1,08
Asteraceae 5	2	1,10	10,00	1,61	6	0,40	1,01
<i>Ludwigia sericea</i>	2	1,25	10,00	1,61	5	0,34	0,97
<i>Senecio juergensii</i>	1	1,30	5,00	0,81	2	0,13	0,47
<i>Galium equisetoides</i>	1	1,20	5,00	0,81	2	0,13	0,47
Asteraceae 2	1	0,70	5,00	0,81	1	0,07	0,44
Asteraceae 4	1	1,40	5,00	0,81	1	0,07	0,44
<i>Polygonum</i> sp.	1	0,40	5,00	0,81	1	0,07	0,44
<i>Cerastium rivulare</i>	1	0,10	5,00	0,81	1	0,07	0,44
TOTAIS			620	100	1478	100	100

FONTE: Sousa (2020).

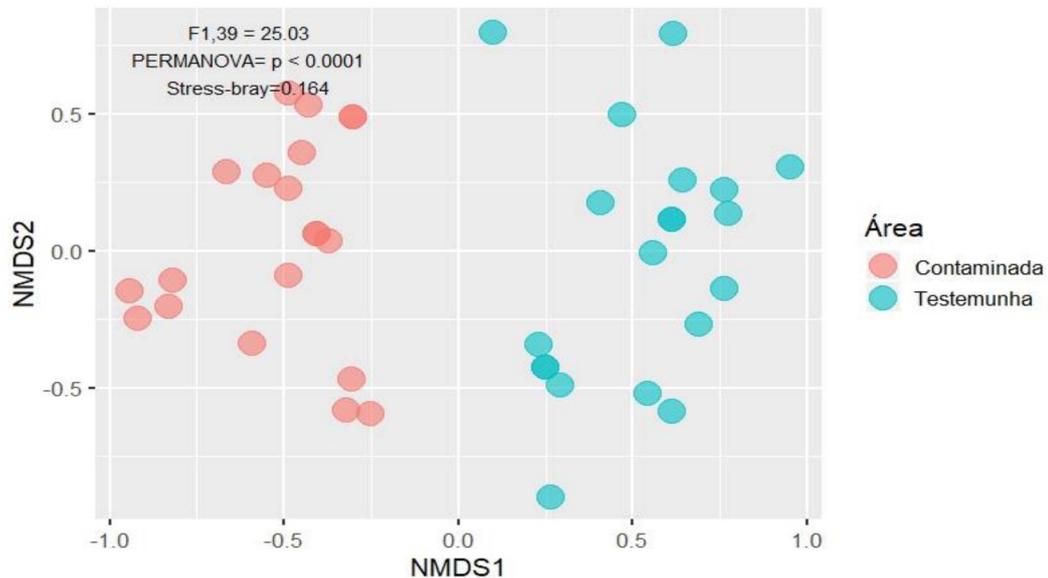
LEGENDA: N: número de repetições das espécies; HMAX: altura máxima; FA: frequência absoluta; FR: frequência relativa; CA: cobertura absoluta; CR: cobertura relativa; VI: valor de importância.

A análise de NMDS a partir dos dados fitossociológicos sugeriu a formação de dois grupos distintos (FIGURA 15). O valor de stress de 0,164 aponta que a ordenação é adequada para a interpretação dos dados. A análise de PERMANOVA ($R^2 = 0,40$, $F = 25,03$, $p < 0,001$) revelou que existe diferença significativa entre os grupos quanto à distância com relação ao centroide, ou seja, 40% da distância encontrada entre as áreas devem-se às diferenças na abundância e composição de espécies.

Foram encontrados valores de 2,20 para o índice de diversidade de Shannon (H') e 0,77 para a equabilidade (J') na Área Contaminada. Para a Área

Testemunha, foi obtido índice de Shannon (H') de 1,51 e uma equabilidade (J') de 0,49.

FIGURA 16 – ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO-MÉTRICO A PARTIR DOS DADOS FITOSSOCIOLÓGICOS MOSTRANDO A SEPARAÇÃO DA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO DA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

A formação de diferentes grupos associados a composição de espécies pode ser decorrente do fato de as parcelas terem sido instaladas de forma relativamente concentrada, principalmente devido à necessidade de coincidir com os pontos com maior concentração de petróleo, no caso da Área Contaminada. Então a diferenciação em dois grupos pode se tratar de uma casualidade, devido às diferenças inerentes às variações fisionômicas naturais preexistentes ao longo da várzea.

O espectro de dispersão foi representado por 8 (53,33%) espécies anemocóricas e 7 (46,66%) autocóricas na Área Contaminada (TABELA 6). A maioria das espécies anemocóricas foi representada pela família Asteraceae, já para as autocóricas, cada espécie foi representada por uma família. Entre as espécies da Área Testemunha, 9 (60%) foram anemocóricas, 5 (33,33%) autocóricas e 1 (6,66%) zoocórica, também destacando-se a família Asteraceae, com 6 (66,66%) das 9 espécies anemocóricas (TABELA 7).

De acordo com Heiden et al. (2007) devido as características do fruto, a família Asteraceae apresenta grande eficiência na dispersão, sendo a anemocoria e a zoocoria as formas de dispersão mais significativas desta família, que possui grande relevância na restauração de áreas degradadas, colonizando estes ambientes e atuando como pioneiras na reestruturação da flora.

TABELA 6 – ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR, COM VALORES MÉDIOS ATRIBUTOS FUNCIONAIS.

ESPÉCIES	ATRIBUTOS							
	AF (cm ²)	AFE (cm ² .g ⁻¹)	CMSF (mg.g ⁻¹)	EF (mm)	CER (m.g ⁻¹)	CMSR (mg.g ⁻¹)	HMAX (m)	SD
<i>Baccharis pseudomyriocephala</i> *	2,96	125,47	0,008	0,18	5219,433	0,63	1,5	Ane
<i>Campuloclinium macrocephalum</i>	5,08	19,53	0,0143	0,39	2243,15	0,25	1,8	Ane
<i>Cerastium rivulare</i>	2,34	216,44	0,0021	0,2	12588,54	0,3	0,92	Aut
<i>Conoclinium</i> sp.	5,66	151,38	0,0094	0,38	8167,95	0,41	1,2	Ane
<i>Equisetum giganteum</i> *	8,03	6,32	0,0209	1,09	-	-	1,8	Aut
<i>Erechtites valerianifolius</i>	10,28	51,39	0,0072	0,21	-	-	1,2	Ane
<i>Hymenachne pernambucensis</i>	244,75	20,38	0,0584	0,54	1322,78	0,23	1,93	Aut
<i>Juncus effusus</i> *	45,54	13,83	0,0368	2,53	18973,35	0,49	1,33	Aut
<i>Ludwigia sericea</i> *	0,67	27,735	0,0157	0,16	1163,07	0,31	1,7	Aut
<i>Mikania micrantha</i>	16,16	76,68	0,0109	0,38	-	-	1,38	Ane
<i>Mimosa oblonga</i> *	2,27	160,91	0,0072	0,07	8950,96	0,22	1,44	Aut
<i>Neoblechnum brasiliense</i>	289,44	82,93	0,0884	0,16	11235,57	0,24	0,4	Ane
<i>Neocabreria serrulata</i> *	12,22	14,4	0,0257	0,29	6375,27	0,29	1,97	Ane
<i>Schoenoplectus californicus</i>	299,27	6,43	0,041	10,29	7418,28	0,14	2,58	Aut
<i>Typha domingensis</i> *	260,25	35,12	0,0763	3,51	7829,47	0,13	2,17	Ane

FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: AF - área foliar, AFE - área foliar específica, CMSF - conteúdo de matéria seca foliar, EF - espessura foliar, CER - comprimento específico da raiz, CMSR - conteúdo de matéria seca da raiz, HMAX - altura máxima e SD - especificação da síndrome de dispersão: Ane – anemocórica, Aut - autocórica.

NOTA: * Espécies que também foram registradas na Área Testemunha.

TABELA 7 – ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR, COM VALORES MÉDIOS DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS.

(continua)

ESPÉCIES	ATRIBUTOS							
	AF (cm ²)	AFE (cm ² .g ⁻¹)	CMSF (mg.g ⁻¹)	EF (mm)	CER (m.g ⁻¹)	CMSR (mg.g ⁻¹)	HMAX (m)	SD
Asteraceae 3	8,7	13,21	0,0268	0,27	2547,87	0,09	1,47	Ane
Asteraceae 4	2,6	259,95	0,0019	0,11	5543,23	0,22	1,4	Ane
Asteraceae 5	7,27	15,8	0,0163	0,26	2182,88	0,22	1,6	Ane
<i>Baccharis</i>	3,12	133,55	0,0036	0,14	4722,11	0,33	1,43	Ane

<i>pseudomyriocephala</i> *									
<i>Christella dentata</i>	353,6	109,64	0,1136	0,13	4645,9	0,21	0,55	Ane	
<i>Cissus verticillata</i>	19,73	37,64	0,0106	0,27	2962,24	0,45	0,6	Zoo	
<i>Equisetum giganteum</i> *	7,49	6,22	0,0241	1,27	4703,15	0,24	1,71	Aut	
<i>Juncus effusus</i> *	45,96	16,185	0,0433	2,22	2462,6	0,07	1,35	Aut	
<i>Ludwigia sericea</i> *	0,65	64,62	0,0055	0,08	1514,56	0,34	1,6	Aut	
<i>Mimosa oblonga</i> *	2,11	99,361	0,0179	0,09	5194,89	0,21	1,39	Aut	
<i>Neocabreria serrulata</i> *	9,94	21,58	0,0185	0,22	4416,15	0,27	1,32	Ane	
<i>Oxypetalum tubatum</i>	2,45	244,68	0,0038	0,07	3316,46	0,07	0,8	Ane	
Poaceae 1					19970,4				
	6,72	385,73	0,0138	0,08	5	0,003	0,97	Aut	
<i>Senecio juergensii</i>	15,36	29,54	0,0121	0,23	5147,36	0,2	1,3	Ane	
<i>Typha domingensis</i> *	398,48	14,279	0,0467	3,589	6048,36	0,09	2,66	Ane	

FONTE: Sousa (2020).

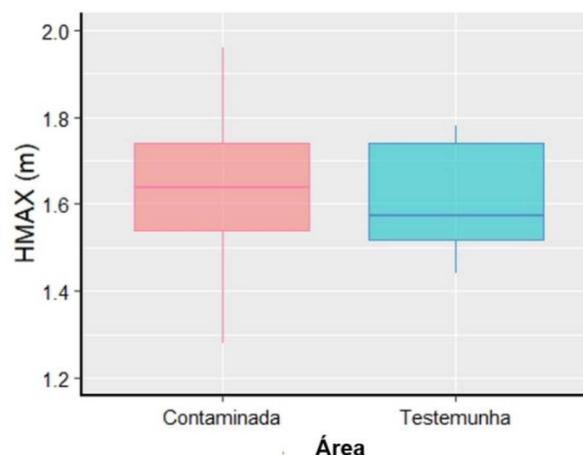
(conclusão)

LEGENDA: AF - área foliar, AFE - área foliar específica, CMSF - conteúdo de matéria seca foliar, EF - espessura foliar, CER - comprimento específico da raiz, CMSR - conteúdo de matéria seca da raiz, HMAX - altura máxima e SD - especificação da síndrome de dispersão: Ane – anemocórica, Aut - autocórica, Zoo – zoocórica.

NOTA: * Espécies que também foram registradas na Área Contaminada por petróleo.

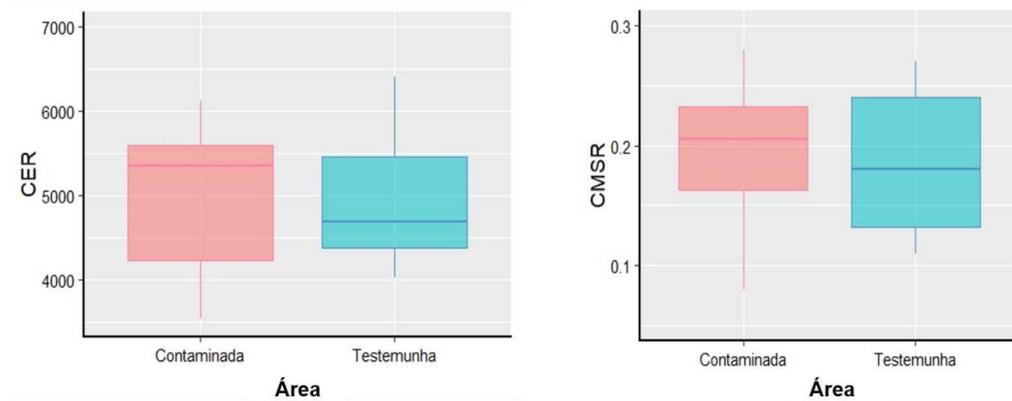
Dentre as características funcionais avaliadas, apenas a espessura foliar diferiu significativamente entre as duas áreas estudadas, sendo menor na Testemunha ($t = 6,83$; $p < 0,05$) (FIGURA 18). Os demais atributos: altura máxima ($t = 0,91$; $p = 0,3707$), comprimento específico da raiz ($t = 1,21$; $p = 0,2403$), conteúdo de matéria seca da raiz ($t = 0,39$; $p = 0,993$), área foliar ($t = 1,10$; $p = 0,9188$), área foliar específica ($t = 1,10$; $p = 0,2829$) e conteúdo de matéria seca foliar ($t = 0,2$; $p = 0,8437$), a despeito de terem apresentado uma tendência de maiores valores na Área Contaminada, não foram estatisticamente distintos dos verificados para a Testemunha (FIGURAS 16, 17 e 18).

FIGURA 17 – ALTURA MÁXIMA DAS ESPÉCIES VEGETAIS NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

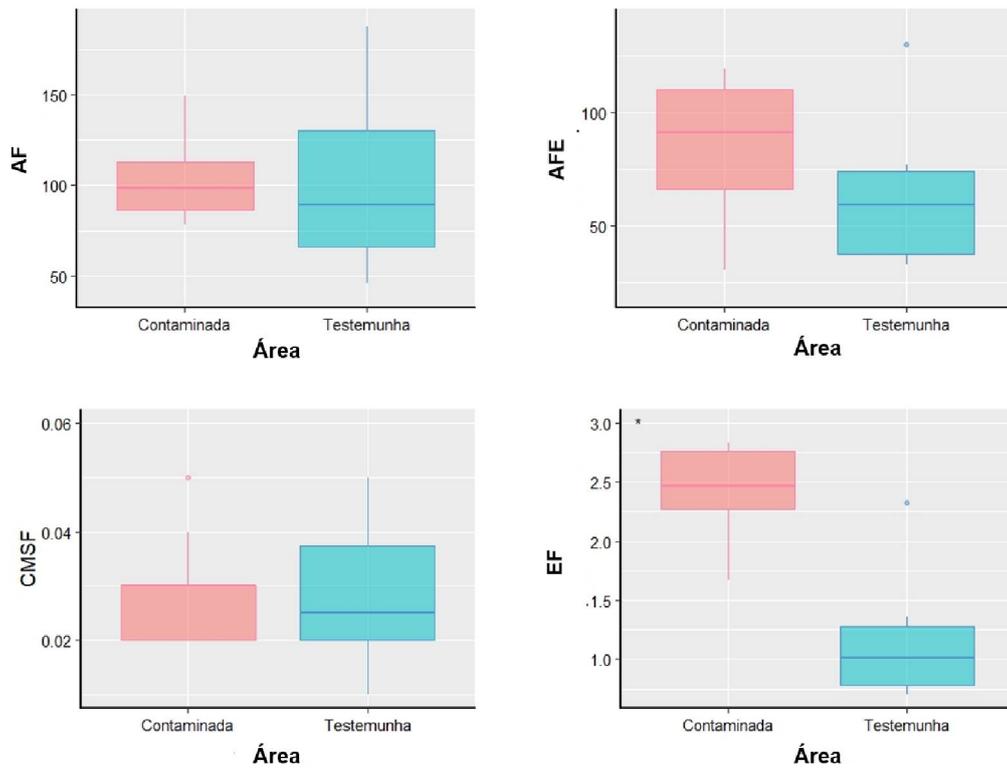
FIGURA 18 – ATRIBUTOS DE RAIZ DAS ESPÉCIES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: CER: comprimento específico da raiz, CMSR: conteúdo de matéria seca da raiz.

FIGURA 19 – ATRIBUTOS FOLIARES DAS ESPÉCIES NA ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E NA ÁREA TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: AF: área foliar afe: área foliar específica; CMSF: conteúdo de matéria seca foliar; EF: espessura foliar. NOTA: *diferiu significativamente ($p < 0,05$).

Os resultados obtidos apontam pouca variação nos atributos funcionais das espécies, o que revela estratégias ecológicas semelhantes na flora da paisagem em estudo, mostrando que diferenças na composição de espécies pouco influenciaram a diversidade funcional das comunidades, o que pode ter ocorrido devido à proximidade e semelhança entre os ambientes estudados. No caso dos ambientes de várzea, a pressão seletiva e estruturação da vegetação se dá principalmente em função do pulso de inundação (JUNK, 1989).

De acordo com De Bello et al. (2006), as diversidades taxonômica e funcional respondem de forma diferenciada quando impostas aos mesmos filtros restritivos, e suas relações dependem das características funcionais coletadas e das particularidades de cada comunidade.

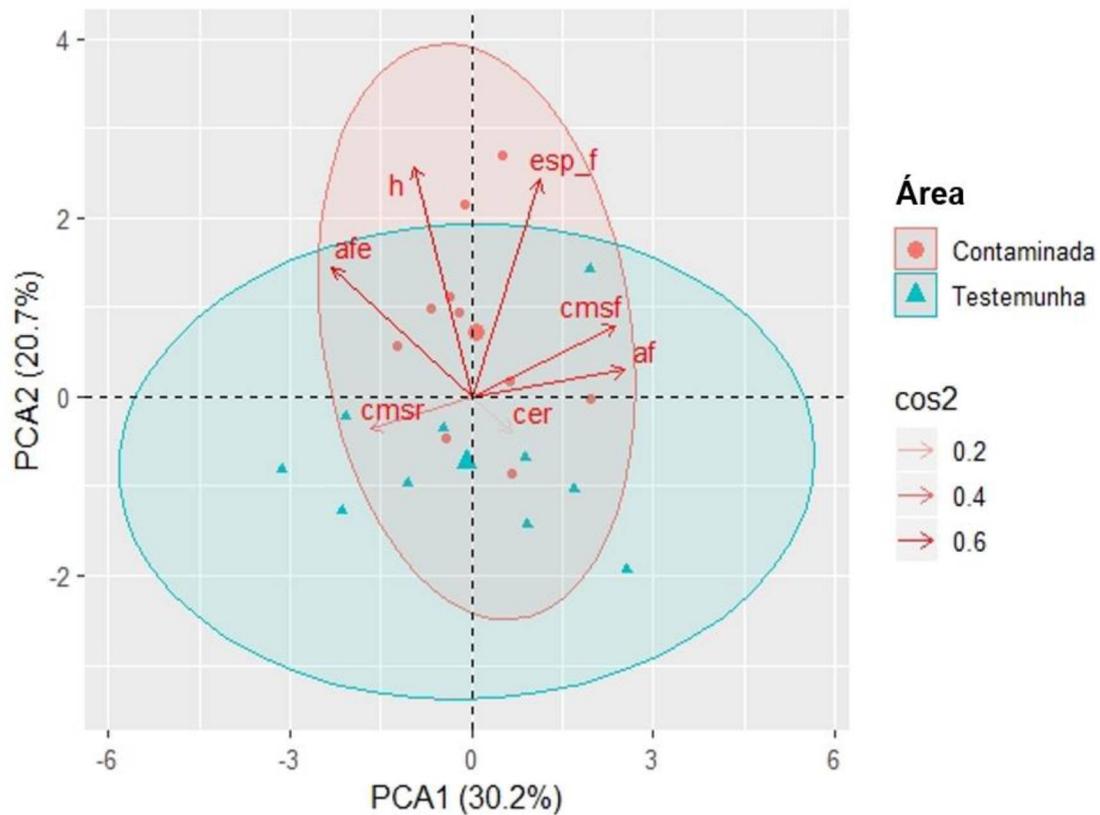
Segundo Sloan (1999), as alterações físicas e biológicas sofridas pelo petróleo após entrar em contato com o ambiente são reguladas pelas características específicas do derramamento e do ambiente atingido, tendo este, grande influência no grau de impacto.

Se a exposição das plantas ao petróleo ocorre após um período de tempo, os efeitos dos hidrocarbonetos de petróleo na vegetação podem diminuir, devido principalmente à evaporação, dissolução, oxidação e biodegradação do petróleo, reduzindo seus componentes tóxicos. Esta degradação ao longo do tempo pode permitir que plantas imediatamente sensíveis ao poluente possam se desenvolver no solo contaminado, após determinado período de tempo, de acordo com suas características (LOPES; PIEDADE, 2010).

Mesmo com a alta similaridade entre as características das espécies nas áreas estudadas, foi observada diferença na EF entre os ambientes, o que ficou ainda mais evidente com os resultados da Análise de Componentes Principais (PCA), onde os dois primeiros eixos da análise das diferenças dos atributos funcionais das plantas entre as Áreas Contaminada e Testemunha explicaram 50,9% da variação nos dados.

O primeiro eixo explicou a maior variação de atributos entre as espécies (30,2%), apresentando maior relação com a AF, CMSF e com CMSR. O segundo eixo explicou 20,7%, demonstrando que a EF e HMAX foram os atributos mais pronunciados na Área Contaminada (FIGURA 19).

FIGURA 20 – RESULTADO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS DIFERENÇAS ENTRE OS ATRIBUTOS FUNCIONAIS DAS ESPÉCIES LEVANTADAS NAS ÁREAS CONTAMINADA POR PETRÓLEO E TESTEMUNHA EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: af: área foliar; afe: área foliar específica; cer: comprimento específico da raiz; cmsf: conteúdo de matéria seca foliar; cmsr: conteúdo de matéria seca da raiz; esp_f: espessura foliar; h: altura máxima.

Maranho et al. (2006) estudando os efeitos da poluição por petróleo na estrutura da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. em área de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, também inserida na área da REPAR, após um ano do acidente, observaram um aumento no espessamento das folhas dos indivíduos expostos ao petróleo, além de redução na área foliar e maior densidade estomática. Características que refletem estratégias para aumentar a resistência contra a perda de água (PINHO, 2014).

Oliveira (2004), analisando as alterações morfológicas e fisiológicas no corpo vegetativo de *Schinus terebinthifolia* Raddi (espécie ocorrente na região da REPAR), provocadas pelo solo contaminado com o petróleo (coletado na área da

REPAR um ano e sete meses após o acidente), obteve resultados que indicaram prejuízos na absorção de água, como raízes mais ramificadas, redução de área foliar e aumento da espessura dos parênquimas.

De acordo com Kürschner et al. (1998) e Klich (2000), o aumento da espessura da folha está relacionado ao aumento dos tecidos do mesófilo. Esta característica reflete um mecanismo estrutural que potencializa a fotossíntese por unidade de área foliar e habilita a uma maior eficiência no uso da água (KLICH, 2000).

Observando as espécies que tiveram ocorrência exclusiva em cada área nota-se uma certa tendência de maiores espessuras foliares na Área Contaminada (TABELAS 6 e 7), ainda que discretas, com exceção da espécie *Schoenoplectus californicus*, que apresentou EF consideravelmente maior do que as demais espécies. O que de certa forma, pode refletir uma disposição do ambiente contaminado em selecionar espécies e indivíduos com essa característica, visto que as parcelas foram instaladas em pontos com razoável concentração de petróleo presente.

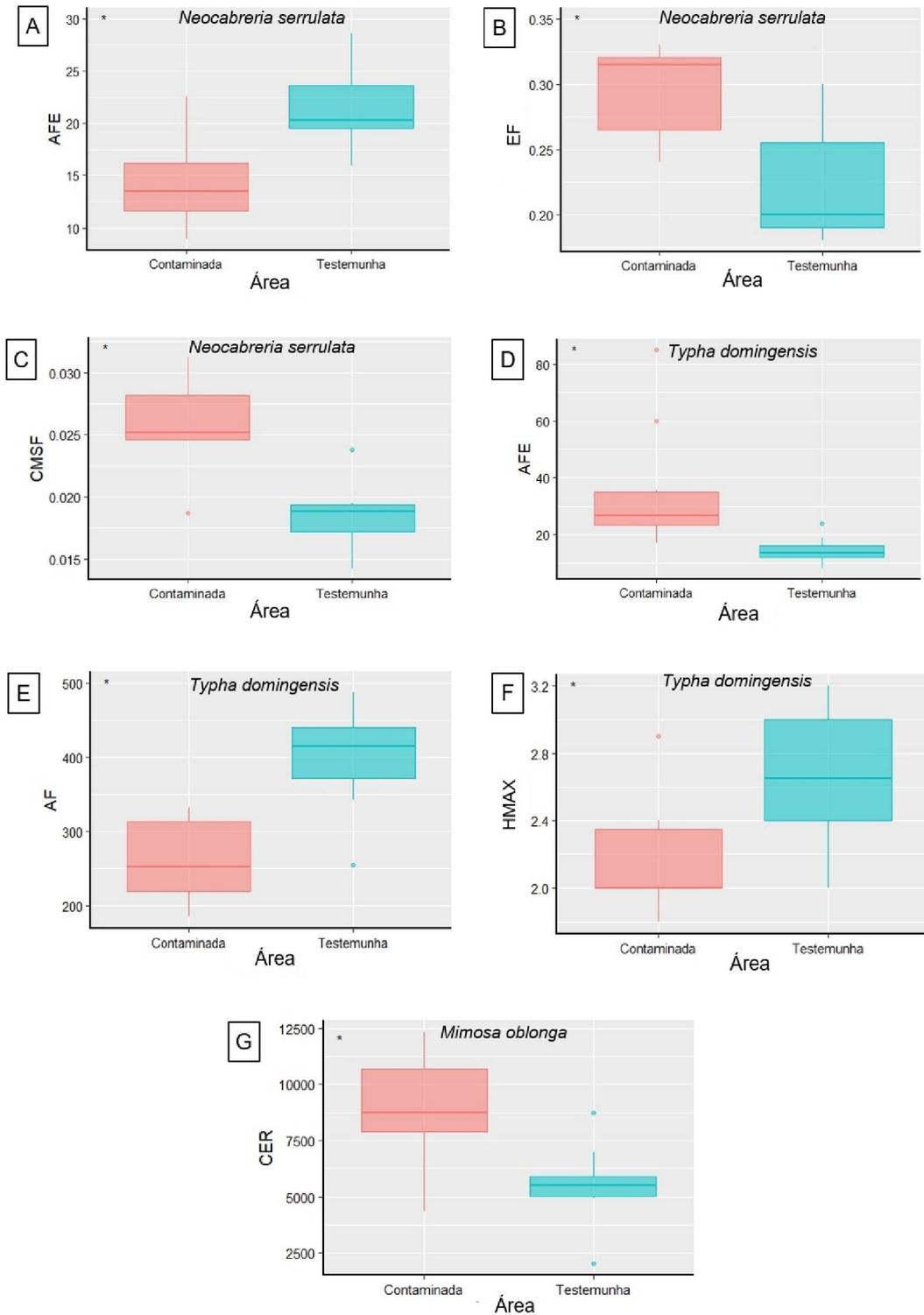
Dentre as espécies comuns a ambas as áreas, por serem as mais abundantes, *M. oblonga*, *N. serrulata* e *T. domingensis* tiveram seus valores de atributos funcionais comparados entre as áreas.

As três espécies apresentaram variações significativas nas características funcionais entre as áreas. *N. serrulata*, apresentou valores maiores de EF ($t = 2,92$; $p = 0,013$) e CMSF ($t = 3,48$; $p = 0,005$) na Área contaminada e maior AFE ($t = 2,90$; $p = 0,014$) na Área testemunha.

T. domingensis também apresentou três características significativamente diferentes entre as áreas: AF ($t = 5,17$; $p = 6,408e-05$) e HMAX ($t = 3,06$; $p = 0,006$) mais expressivas na Área testemunha e maior AFE ($t = 3,01$; $p = 0,007$) na Área contaminada.

Para *M. oblonga*, o CER diferiu significativamente, sendo maior na Área contaminada ($t = 3,24$; $p = 0,005$) (FIGURA 20).

FIGURA 21 – ATRIBUTOS FUNCIONAIS DAS TRÊS ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES COM DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE A ÁREA CONTAMINADA POR PETRÓLEO E A ÁREA TESTEMUNHA, EM FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLÚVIO-LACUSTRE, ARAUCÁRIA, PR.



FONTE: Sousa (2020).

LEGENDA: A - AFE: área foliar específica (*N. serrulata*); B - EF: espessura foliar (*N. serrulata*); C - CMSF: conteúdo de matéria seca foliar (*N. serrulata*); D - AFE: área foliar específica (*T. domingensis*); E - AF: área foliar (*T. domingensis*); F - HMAX: altura máxima (*T. domingensis*); G - CER: comprimento específico da raiz (*M. oblonga*).

De acordo com Rossato (2013), as folhas são muito variáveis entre espécies diferentes, e essa variação pode também ser refletida na mesma espécie e até no mesmo indivíduo, como resposta a diferentes intensidades luminosas. A AF, AFE e o CMSF se relacionam com a capacidade de obtenção de recursos acima do solo (FERNANDES, 2018), sendo que a AF está positivamente associada à capacidade das espécies obterem recursos rapidamente em ambientes produtivos (GRIME, 2006; PIERCE et al., 2013), e negativamente relacionada à resistência a estresses hídricos e nutricionais (GRIME et al., 1997; CORNELISSEN, et al., 2003).

Assim como *Podocarpus lambertii*, espécie estudada por Maranhão et al. (2006), na área da REPAR, *T. domingensis* também apresentou menor AF na Área contaminada, o que parece refletir uma estratégia de conservação de água pela espécie nesse ambiente. Estratégias semelhantes também são observadas por espécies com maiores EF e maiores CMSF, como obtidos por *N. serrulata*. Outra característica que pode ser afetada pela menor oferta de água no solo, bem como pela deficiência nutricional, é HMAX das espécies, podendo apresentar menor crescimento da parte aérea, quando expostas a essas condições (BEUTLER; CENTURION 2004).

Pela sua proximidade, as áreas estudadas não estão expostas à diferentes intensidades de irradiância solar e temperaturas, levando a inferir que uma das causas da possível interferência na absorção de água, por algumas espécies, pode estar relacionada à presença de petróleo aderido às raízes. Segundo Xu & Johnson (1995); Hester & Mendelssohn (2000); Pezeshki et al. (2000), a película de petróleo que se forma cobrindo as raízes, alterando assim a absorção de água e nutrientes, é um dos principais efeitos físicos causados pelo contaminante quando em contato com as plantas.

O maior CER em áreas contaminadas por petróleo, como o apresentado por *M. oblonga*, segundo Kechavarzi (2007), pode estar relacionado a estratégias da planta em tentar atingir áreas não contaminadas. No estudo de Oliveira (2004), com *Schinus terebinthifolia*, as plantas que estavam em solo contaminado apresentaram um sistema radicular mais ramificado e denso, quando comparadas com as raízes das plantas que estavam em solo não contaminado. Bona & Santos (2003), obtiveram resultados semelhantes em experimento com *Podocarpus lambertii* e

Mimosa scabrella, utilizando solo contaminado por petróleo, coletado na área da REPAR

As três espécies avaliadas apresentaram variações em características um tanto diferenciadas entre si, podendo refletir capacidades distintas de respostas adaptativas das espécies às circunstâncias impostas pelo ambiente. De acordo com Gkorezis et al. (2016), para sobreviver e prosperar em ambientes contaminados com Hidrocarbonetos de petróleo, as plantas devem apresentar: (i) tolerância a um ou mais componentes de misturas de petróleo, (ii) alta competitividade, (iii) rápido crescimento, e (iv) a capacidade de produzir e secretar enzimas degradadoras de hidrocarbonetos. Assim, segundo Wenzel (2009), a seleção de plantas com maior tolerância a poluentes, produção de raízes e biomassa aérea, adequação a diversos tipos de solo, entre outras características, são pré-requisitos para uma restauração bem-sucedida.

Neste contexto, levando-se em consideração que as espécies presentes na várzea são plantas pioneiras, estas podem estar sendo beneficiadas por suas características de rápido crescimento, produção de grande número de sementes, alta capacidade de colonização, adaptação e resistência (TURNER, 2001; LORENZI, 2008).

Dentre as 15 espécies selecionadas para as análises dos atributos funcionais na área contaminada, pelo menos cinco (*E. giganteum*, *J. effusus*, *L. elegans*, *S. californicus* e *T. domingensis*) são apontadas em diversos estudos como fitorremediadoras ou potenciais fitorremediadoras de áreas com metais pesados (HUBBARD et al., 1999; MARTINS et al., 2007; ROESSING, 2007; ZOCHE et al., 2010; BARRETO, 2011; LADISLAS et al., 2013; AFONSO, 2019).

Outro fator associado às contribuições positivas das espécies para a fitorremediação é a presença de sistemas radiculares fibrosos (GASKIN et al., 2008; REZEK et al., 2008), característicos de espécies como *Schoenoplectus californicus* e *Typha domingensis*, que apresentam alto potencial de reprodução e crescimento em ambientes diversos (CORSINO et al., 2013). Nguemté et al. (2018) também ressaltam que um sistema radicular fibroso e diversificado, como o das espécies da família Poaceae, permite desenvolver estratégias de adaptação em ambientes perturbados, como o solo poluído por hidrocarbonetos.

Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) é uma planta rizomatosa que se caracteriza por ter um escapo ereto, de secção transversal triangular,

fotossintetizante, longo e fino, cuja verticalidade se deve também ao sistema caulinar subterrâneo que é bem desenvolvido e do qual os escapos são originados (LANGE et al., 1998). Apesar da redução das folhas, o escapo possui uma grande área fotossintetizante e espessa que garante a atividade fotossintética e que atende tanto à manutenção da verticalidade quanto às atividades fisiológicas e as trocas gasosas. Assim, a distribuição homogênea de estômatos e do parênquima paliádico nas três faces do escapo, e sua maior espessura na porção apical, incrementam esse processo de captura de luz (CORSINO et al., 2013). O sucesso ecológico dessa espécie, formando densas populações clonais, se deve, pelo menos em parte, ao conjunto de características morfológicas e anatômicas que definem a arquitetura do escapo (CORSINO et al., 2013).

Quanto a *Typha domingensis* (Typhaceae), é uma planta bastante vigorosa, rizomatosa, aquática, com caule aéreo cilíndrico, que se propaga por sementes e vegetativamente formando densos agrupamentos. É uma espécie emergente, muito frequente em margens de lagos, reservatórios, canais de drenagem e várzeas (MARTINS et al., 2007). Amplamente conhecida por absorver metais pesados, inclusive o cobre, é indicada como depuradora natural de ambientes aquáticos (REITZ, 1984).

De acordo com Chagas et al. (2008), o conhecimento acerca da amplitude de tolerância das espécies vegetais a diversos fatores é restrito, visto que a resposta funcional da espécie é identificada por um grupo de características edafoclimáticas e não apenas por um único fator isolado; dificultando a identificação do fator ambiental que promove a variação na morfologia foliar.

Nesse estudo, as áreas avaliadas parecem apresentar um certo grau de redundância ecológica, o que, de acordo com Walker (1995) e Girão et al. (2007), pode lhes conferir maior resiliência, ou seja, maior capacidade de manter sua estrutura e processos, frente a perturbações ambientais. No entanto, quando se avaliou espécies separadamente, estas demonstraram uma maior variedade de respostas ao meio, refletindo diferentes estratégias na aquisição e uso de recursos, as quais dependem de estudos mais acurados para um melhor entendimento das interações ecológicas e dos fatores limitantes que podem estar exercendo influência sobre as estratégias e habilidades das espécies no ecossistema.

4.4 CONCLUSÕES

Houve pouca similaridade florística entre as áreas Contaminada e Testemunha, podendo estar relacionada as diferenças inerentes às variações fisionômicas naturais preexistentes nesse ecossistema.

As áreas estudadas apresentaram pouca variação entre as características funcionais em nível de comunidade, demonstrando uma aparente semelhança de funções e de estratégias ecológicas das espécies, sendo a espessura foliar a única característica avaliada que apresentou diferença estatística entre as áreas estudadas, tendo maior valor na Área Contaminada. Esta característica pode refletir a necessidade de maior eficiência no uso da água devido a possíveis interferências na absorção de água por algumas espécies.

As espécies mais abundantes ocorrentes nas duas áreas apresentaram diferenças significativas em certas características funcionais entre as áreas. O fato de cada espécie ter apresentado variação em atributos distintos pode refletir capacidades distintas de respostas adaptativas das espécies às circunstâncias impostas pelo ambiente.

REFERÊNCIAS

AFONSO, T. F. **Prospecção de plantas para fitorremediar áreas de mineração contaminadas com metais pesados na região de Caçapava do Sul (RS)**. 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (RS), 2019.

APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1–20, março. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>. Acesso em 2019.

ATLAS, R. M. Petroleum biodegradation and oil spill Bioremediation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, n. 4-12, p. 178-182, dezembro. 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00113-2](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00113-2). Acesso em 2019.

BAEK, K.; KIM, H.; OH, H.; YOON, B.; KIM, J.; LEE, I. Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth. **Journal of Environmental Science and Health**, v. A39, n. 9, p. 2465–2472, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/ESE-200026309>. Acesso em 2019.

- BAPTISTA, S. J. Avaliação do emprego de biossurfactante na biorremediação de solos contaminados com óleo diesel. 2007. 141 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Revista Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2004.
- BARDELLI-DA-SILVA, M. Y. Florística e estrutura de uma formação pioneira com influência flúvio-lacustre 12 anos após derramamento de óleo, Araucária, Paraná. 2014. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BARRETO, A. B. **A seleção de macrófitas aquáticas com potencial para remoção de metais-traço em fitorremediação**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 2011.
- BARRETT, S. C. H.; ECKERT, C. G.; HUSBAND, B. C. Evolutionary processes in aquatic plant populations. **Aquatic Botany**, v. 44, n.1, p. 105–145, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(93\)90068-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(93)90068-8). Acesso em 2019.
- BEDOYA, A. M.; MADRINÁN, S. Evolution of the aquatic habit in *Ludwigia* (Onagraceae): Morpho-anatomical adaptive strategies in the Neotropics. **Aquatic Botany**, v. 120, n. 1, p. 352-362, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.10.005>. Acesso em 2019.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, junho. 2004.
- BOLDRINI, I. I.; MIOTTO, S. T. S. Levantamento fitossociológico de um campo limpo da estação experimental agrônômica da UFRGS, Guaíba, RS. **Acta Botanica Brasilica**, n. 1, p. 49-56, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33061987000100006>. Acesso em 2019.
- BOLDRINI, I. I.; TREVISAN, R.; SCHNEIDER, A. A. Estudo florístico e fitossociológico de uma área às margens da lagoa do Armazém, Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. 4, p. 355-367, 2008.
- BONA, C.; SANTOS, O. G. **Adaptações fisiológicas de espécies vegetais crescendo em solo contaminado com petróleo**. Curitiba: FUPAR - UFPR, 2003. Relatório técnico.
- CAETANO, V. L. Dinâmica sazonal e fitossociologia da vegetação herbácea de uma baixada úmida entre dunas, Palmares do Sul, Rio Grande do Sul. **Iheringia, Serie Botânica**, Porto Alegre, v. 58, n. 1, p. 81-102, 2003.
- CARLUCCI, M. B.; DEBASTIANI, V. J.; PILLAR, V. D.; DUARTE, L. D. S. Between- and within-species trait variability and the assembly of sapling communities in forest

patches. **Journal of Vegetation Science**, v. 26, p. 21-31, setembro. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jvs.12223>. Acesso em 2019.

CARVALHO, J.; MARQUES, M.C.M.; RODERJAN, C.V.; BARDDAL, M.; SOUSA, S.G.A. Relações entre a distribuição das espécies de diferentes estratos e as características do solo de uma floresta aluvial no Estado do Paraná, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 1-9, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000100002>. Acesso em 2019.

CHAGAS, M. G. S.; SILVA, M. D.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Variações foliares em grupos funcionais vegetais de uma paisagem de Restinga, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, Recife – PE. v. 1, n. 02, p. 50-63, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20080010>. Acesso em 2019.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; SWENSON, N. G.; ZANNE, A. E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 351-366, abril. 2009. Disponível em doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>. Acesso em 2019.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DÍAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH D. E.; REICH, P. B.; STEEGE, H.; MORGAN, H. D.; HEIJDEN, M. G. A.; PAUSAS, J. G.; POORTER H. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 335-380, janeiro. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/BT02124>. Acesso em 2019.

CORSINO, B. BOEGER, M. R. T. MARANHÃO, L. T. Arquitetura do escapo de *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják (Cyperaceae). **Iheringia**, Série Botânica. Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 27-35, junho. 2013.

COSTA, P.; SCHMIDT, L. P. O refino de petróleo no Paraná: Uma análise geoeconômica. **Revista Brasileira de Geografia Econômica**, n. 14, p. 1-21, agosto / setembro, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/espacoeconomia.6058>. Acesso em 2019.

DE BELLO, F.; LEPS, J.; SEBASTIA, M. T. Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. **Ecography**, v. 29, n. 6, p. 801-810, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04683.x>.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, novembro. 2001. Disponível em doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2). Acesso em 2019.

DÍAZ, S.; LAVOREL, S.; BELLO, F.; QUÉTIER, F.; GRIGULIS, K.; ROBSON, T. M. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. **Proceedings of the National Academy of Science**, Washington, v.104, n. 52, p. 20684-20689, dezembro. 2007. Disponível em doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>. Acesso em 2019.

DURIGAN, G. Estrutura e Diversidade de Comunidades Florestais. In: MARTINS, S. V. (Ed.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, 2012.

ERNESTO, M. F. S. **Poluição por petróleo nos ambientes marinho e costeiro**. Itajubá, 2010.

FELFILI, J. M.; REZENDE, R. P. **Conceitos e métodos em fitossociologia**. v. 5, n. 1, Brasília, 2003.

FERNANDES, J. F. Variação de atributos funcionais e sua influência no desempenho de espécies arbóreas reintroduzidas em áreas degradadas. 2018. 114 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

FONSECA, M. R. M. **Química: química orgânica**. São Paulo, 1992.

FOREST, F.; GRENYER, R.; ROUGET, M.; DAVIES, T. J.; COWLING, R. M.; FAITH, D. P.; BALMFORD, A.; MANNING, J. C.; PROCHEŞ, S.; VAN DER BANK, M.; REEVES, G.; HEDDERSON, T. A. J.; SAVOLAINEN, V. Preserving the evolutionary potential of floras in biodiversity hotspots. **Nature**, v. 445, p. 757-760, fevereiro. 2007.

FOX, J.; WEISBERG, S. (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>. Acesso em 2019.

FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA, DA TECNOLOGIA E DA CULTURA (FUNPAR). Diagnóstico e monitoramento da cobertura vegetal da área de influência direta e indireta do vazamento de óleo da Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR, Araucária, PR: Fase I – Diagnóstico. FUNPAR, Curitiba, 2001, 82 p.

FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA, DA TECNOLOGIA E DA CULTURA (FUNPAR). Continuidade dos estudos da cobertura vegetal da área atingida pelo vazamento de óleo ocorrido em julho de 2000 na Refinaria Presidente Getúlio Vargas/PR. Relatório Final: Componente Herbáceo. UFPR, Curitiba, 2013.

FURCH, K.; JUNK, W. J. The Chemical Composition, Food Value, and Decomposition of Herbaceous Plants, Leaves, and litter of floodplain forests, in: JUNK, W. J. (Ed.) **The Central Amazon Floodplain**, Springer-Verlag, New York, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-662-03416-3_9. Acesso em 2019.

GABARDO, I.T.; CARNEIRO, M.E.R.; FALCÃO, L.V.; MENICONI, M.F.G.; BARBAND, S.M.; PLATTE, E.B. Oil Spills in a Tropical Country – Brazilian Case Studies. **IOSP Proceedings**, n. 1, p. 1039-1049, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2003-1-1039>. Acesso em 2019.

GALVÃO, F.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S.; ZILLER, S. R. Composição florística e fitossociologia de caxetais do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, p. 17-39, 2000.

GARNIER, E.; NAVAS, M. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, n. 32, p. 365-399, agosto. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0036-y>. Acesso em 2019.

GASKIN, S.; SOOLE, K.; BENTHAM, R. Screening of Australian native grasses for rhizoremediation of aliphatic hydrocarbon-contaminated soil. **International Journal of Phytoremediation**, v. 10, n. 5, p. 378-389, novembro. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15226510802100465>. Acesso em 2019.

GESAMP - JOINT GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE POLLUTION. **Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine Environment**. Londres: GESAMP, 1993. Relatório técnico.

GHEORGHE, I. F.; IONESCU, S.; STRAT, D. Effects of oil pollution on vegetation, potentially useful indicator species for rehabilitation. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 24, n. 1, p. jun. / jul. 2018.

GIRÃO, L. C.; LOPES, A. V.; TABARELLI, M.; BRUNA, E. M. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic Forest landscape. **Plos Biology**, n. 2, p. 908, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000908>. Acesso em 2019.

GKOREZIS, P.; DAGHIO, M.; FRANZETTI, A.; HAMME, J. D. V.; SILLEN, S. VANGRONSVELD, J. The Interaction between Plants and Bacteria in the Remediation of Petroleum Hydrocarbons: Na Environmental Perspective. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1-27, novembro. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01836>. Acesso em 2019.

GRIME, J. P. **Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties**, New York. 2001.

GRIME, J. P.; THOMPSON, K.; HUNT, R.; HODGSON, J. G.; CORNELISSEN, J. H. C.; RORISON, I. H.; HENDRY, G. A. F.; ASHENDEN, T. W.; ASKEW, A. P.; BAND, S. R.; BOOTH, R. E.; BOSSARD, C. C.; CAMPBELL, B. D.; COOPER, J. E. L.; DAVISON, A. W.; GUPTA, P. L.; HALL, W.; HAND, D. W.; HANNAH, M. A.; HILLIER, S. H.; HODKINSON, D. J.; JALILI, A.; LIU, Z.; MACKAY, J. M. L. MATTHEWS, N.; MOWFORTH, M. A.; NEAL, A. M.; READER, R. J.; REILING, K.; ROSS-FRASER, W.; SPENCER, R. E.; SUTTON, F.; TASKER, D. E.; THORPE, P. C.; WHITEHOUSE, J. Integrated Screening Validates Primary Axes of Specialisation in Plants. **Oikos**, v. 79, n. 2, p. 259-281, junho. 1997.

HAN, G. B.; CUI, B. X.; ZHANG, X. X.; LI, K. R. The effects of petroleum-contaminated soil on photosynthesis of *Amorpha fruticosa* seedlings. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, p. 2383-2392, julho. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1071-7>. Acesso em 2019.

HEIDEN, G.; BARBIERI, R. L.; WASUM, R. A.; SCUR, L.; SARTORI, M. A família Asteraceae em São Mateus do Sul, Paraná. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 249-251, julho. 2007.

HESTER, M. W.; MENDELSSOHN, I. A. Long-term of a Louisiana brackish marsh plant community from oil – spill impact: vegetation response and mitigating effects of marsh surface elevation. **Marine Environmental Research**, v. 49, n. 3, p. 233-254, abril. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(99\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(99)00071-9). Acesso em 2019.

HOEHNE, F.C. 1948. **Plantas Aquáticas**. Secretaria da agricultura, São Paulo, 168p.

HOSNCHA, L. C. **Impacto de animais sobre a vegetação herbácea em um banhado subtropical no extremo sul do Brasil**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2014.

HUBBARD, R. K.; RUTTER, J. M. NEWTON, G. L.; DAVIS, J. G. Nutrient uptake and growth response of six wetland/riparian plant species receiving swine lagoon effluent. **Transactions of the ASAE**, Tifton, v. 42, n. 5, p. 1331-1341, 1999.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). Cartas climáticas do Paraná. Londrina, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira. *Série Manuais Técnicos em Geociências*, n. 1, Rio de Janeiro, 1992. 91p.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG). Relatório Técnico de Mapeamento – Base Integrada. *Sistema Metodológico e Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra no Estado do Paraná*, n. 2, Curitiba, 2019. 157p.

IRGANG, B. E. Comunidades de macrófitas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul - Brasil: um sistema de classificação. 1999. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira: Sistema de análise de fibras e raízes**. São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

JUNK, W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazon floodplains. In: NIELSEN, L. B. H.; NIELSEN, I. C.; BALSLEV, H. **Tropical Forests - Botanical Dynamics, Speciation & Diversity**. 1989. p. 47–64.

KAFER, D. S.; COLARES, I. G.; HEFLER, S. M. Composição florística e fitossociologia de macrófitas aquáticas em um banhado continental em Rio Grande, RS, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p. 835-846. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602011000400011>. Acesso em 2019.

- KANIESKI, M. R.; GALVÃO, F.; ROIG, F.; A. BOTOSSO, P. C. Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs e *Hovenia dulcis* Thunb. em uma área degradada na floresta ombrófila mista aluvial, Sul do Brasil **Revista Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1201-1215, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509830303>. Acesso em 2019.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. (2019). factextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factextra>. Acesso em 2019.
- KAWAKITA, K.; FONTANA, A. C.; GARCIA, J. M.; RODRIGUES, R. S.; FILGUEIRAS, T. S. Poaceae em uma planície de inundação no Brasil: distribuição espacial e conservação. **Revista Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 577-594, junho. 2018.
- KECHAVARZI, C.; PETTERSSON, K.; LEEDS-HARRISON, P.; RITCHIE, L.; LEDIN, S. Root establishment of Perennial ryegrass (*L. perenne*) in diesel contaminated subsurface soil layers. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 1, p. 68-74, janeiro. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.039>. Acesso em 2019.
- KERAMITSOGLOU I., CERTALIS C., KASSOMENOS P. Decision support system for managing oil spill events. **Environ. Manag**, v. 32, n. 2, p. 290-298, setembro. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-003-2969-7>. Acesso em 2019.
- KHANNA, R. C.; BARUA, T. K. Effects of marine oil spills. **Indian Oil Corp**, Nova Deli, Índia, p. 9-12, 2001.
- KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. Tomo I. 1997.
- KLICH, M.G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 44, n. 3, p. 171-183, novembro. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(00\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00056-3). Acesso em 2019.
- KOZERA, C. Florística e fitossociologia de uma formação pioneira com influência fluvial e de uma estepe gramíneo-lenhosa em diferentes unidades geopedológicas, município de Balsa Nova, Paraná – Brasil. 267 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- KOZERA, C.; KUNIYOSHI, Y. S.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Composição florística de uma formação pioneira com influência fluvial em Balsa Nova, PR, Brasil. **Revista Floresta**, v. 39, n. 2, p. 309-322, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.v39i2.14558>. Acesso em 2019.
- KRAFT, N. J. B.; VALENCIA, R.; ACKERLY, D. D. Functional Traits and Niche-Based Tree Community Assembly in an Amazonian Forest. **Science**, v. 322, p. 580-582, outubro. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1160662>. Acesso em 2019.
- KÜRSCHNER, W. M.; STULEN, I.; WADNER, F.; KUIPER, P. J. Comparison of Paleobotanical Observations with Experimental Data on the Leaf Anatomy of Durmast Oak, *Quercus petraea* (Fagaceae) in Response to Environmental Change.

Annals of Botany, v. 81, n. 5, p. 657-664, maio. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0605>. Acesso em 2019.

LADISLAS, S.; GERENTE, C.; CHAZARENC, F.; BRISSON, J.; ANDRES, Y. Performances of two macrophytes species in floating treatment wetlands for cadmium, nickel, and zinc removal from urban stormwater runoff. **Water Air and Soil Pollution**, v.224, n.2, fevereiro. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1408-x>. Acesso em 2019.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P.; SHIPLEY, B. (2015). Measuring functional diversity (FD) from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12.

LANGE, P. J. D.; GARDNER, R. O.; CHAMPION, P. D.; TANNER, C. C. *Schoenoplectus californicus* (Cyperaceae) in New Zealand. **New Zealand Journal of Botany**, v. 36, n. 3, p. 319-327, janeiro. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0028825X.1998.9512573>. Acesso em 2019.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, 25(1), 1-18. 10.18637/jss.v025.i01.

LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 2019.

LISTE, H.; FELGENTREU, D. Crop growth, culturable bacteria, and degradation of petrol hydrocarbons (PHCs) in a long-term contaminated field soil. **Applied Soil Ecology**, v. 31, p. 43-52, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.04.006>. Acesso em 2019.

LOPES, A.; PIEDADE, M. T. F. O período da contaminação com petróleo influencia a rebrota de *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock em solo de várzea da Amazônia Central? **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 143-148, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032010000400019>. Acesso em 2019.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 4 ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2008.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba, 1968.

MAGALHAES, T. L.; BORTOLUZZI, R. L. C.; MANTOVANI, A. Levantamento florístico em três áreas úmidas (banhados) no Planalto de Santa Catarina, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 3, p. 269-279, 2013.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Curitiba, 2013.

MARANHO, L. T.; GALVÃO, F.; PREUSSLER, K. H.; MUÑI, G. I. B.; KUNIYOSHI, Y. S. Efeitos da poluição por petróleo na estrutura da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 615-624, setembro. 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062006000300011>. Acesso em 2019.

- MARANHO, L.T.; GALVÃO, F.; MUÑIZ, G.I.B.; KUNIYOSHI, Y.S.; PREUSSLER, K.H. Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 633-640, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062006000300013>. Acesso em 2019.
- MARTINEZ-VILALTA, J.; MENCUCCINI, M.; VAYREDA, J.; RETANA J. Interspecific variation in functional traits, not climatic differences among species ranges, determines demographic rates across 44 temperate and Mediterranean tree species. **Journal of Ecology**, v. 98, n. 6, p. 1462-1475, novembro. 2010. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01718.x>. Acesso em 2019.
- MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B.; FAVARETTO, N.; BOEGER, M. R. T.; OLIVEIRA, E. B. de. Capacidade da *Typha domingensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí - Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.11, n. 3, p. 324-330, janeiro. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300013>. Acesso em 2019.
- MARTINS. S. S. S.; SILVA, M. P.; AZEVEDO, M. O.; SILVA, V. P. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. **HOLOS**, v. 6, p. 54-76, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2015.2201>. Acesso em 2019.
- MELO, C. L. Evolução da contaminação na área do vazamento de óleo cru na Repar (2000): Estudo do sistema "Banhado 4" e aplicação do método de polarização induzida na investigação da biodegradação de hidrocarbonetos. 2006. 315 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Setor de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- MELO, C. L.; NETO, A. C. B.; CAICEDO, N. O. L.; SCHWARZ, M. R. Contaminação do Lençol Freático pelo Vazamento de Óleo na Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, Município de Araucária, Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.1, p. 13-19, 2003. doi: 10.21168/rbrh.v8n1.p13-19.
- MILANI, J. E. F.; RODERJAN, C. V.; KERSTEN, R. A.; GALVÃO, F. Fenologia vegetativa e reprodutiva de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial – Araucária (PR). **Revista Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, v. 35, n. 85, p.135-142, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7213/estud.biol.35.085.A004>. Acesso em 2019.
- MORALES, M. With code developed by the R Development Core Team, with general advice from the R-help listserv community and especially Duncan Murdoch. (2019). **sciplot: Scientific Graphing Functions for Factorial Designs**. R package version 1.2-0. <https://CRAN.R-project.org/package=sciplot>. Acesso em 2019.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. New York, 1974.
- NADIM, F.; HOAG, G. E.; LIU, S.; CARLEY, R. J.; ZACK, P. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v.26, p. 169-178, maio.

2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(00\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(00)00031-0). Acesso em 2019.

NGUEMTÉ, P. M.; WAFO, G. V. D.; DJOCGOUE, P. F.; NOUMSI, I. M. K.; NGNIEN, A. W. Potentialities of Six Plant Species on Phytoremediation Attempts of Fuel Oil-Contaminated Soils. **Water Air Soil Pollu**, P. 1-18, março, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3738-9>. Acesso em 2019.

NIELSON, K. G.; WOODMAN, S. G.; ROOD, S. B. Prospective impacts of oil spills on floodplain vegetation: Both crude oil and diluted bitumen increase foliar temperatures, senescence and abscission in three cottonwood (*Populus*) species. **PLoS ONE**, v. 15, n. 3, p. 1-17, março. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230630>. Acesso em 2020.

OKSANEN, F. J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

OLIVEIRA, L. S. **Influência do solo contaminado com petróleo na morfologia e fisiologia de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2004.

PAVANELLI, A. G. **Fitorremediação de solo contaminado com petróleo utilizando *Typha latifolia***. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), 2007.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET-HARTE, M. S.; CORNWELL, W. K. CRAINE, J. M.; GURVICH, D. E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, E. J.; REICH, P. B. POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; RAY, P.; ENRICO, L.; PAUSAS, J. G.; DE VOS, A. C.; BUCHMANN, N.; FUNES, G.; QUÉTIER, F.; HODGSON, J. G.; THOMPSON, K.; MORGAN, H. D.; TER STEEGE, H.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SACK, L.; BLONDER, B.; POSCHLOD, P.; VAIERETTI, M. V. CONTI, G.; STAVER, A. C.; AQUINO, S.; CORNELISSEN, J. H. C. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 61, p. 167-234, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/BT12225>. Acesso em 2018.

PETCHEY, M. L.; GASTON, K. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, v. 5, n. 3, p. 402-411, maio. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x>. Acesso em 2019.

PEZESHKI, S. R.; HESTER, M. W.; LIN, Q.; NYMAN, J. A. The effects of oil spill and clean up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: A review. **Environmental Pollution**, v. 108, n. 2, p. 129-139, maio/junho. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00244-4). Acesso em 2019.

PIERCE, S.; BRUSA, G.; VAGGE, I.; CERABOLINI, B. Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and

herbaceous vascular plants. **Functional Ecology**, v. 27, n. 4, p. 1002–1010, agosto. 2013.

PINHO, B. X. **Diversidade funcional de plantas lenhosas em resposta a gradientes sucessionais e edáficos**. 2014. 191 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Setor de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), 2014.

PIQUET, R. P. S. Os Efeitos Multiplicadores da Indústria Brasileira de Petróleo. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 123, p. 81-97, julho / dezembro. 2012.

PLA, L.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J. **Quantifying Functional Biodiversity**. 2012.

POORTER, L.; WRIGHT, S. J.; PAZ, H.; ACKERLY, D. D.; CONDIT, R.; IBARRA-MANRÍQUEZ, G.; HARMS, K. E.; LICONA, J. C.; MARTINEZ-RAMOS, M.; MAZER, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C.; PEÑA-CLAROS, M.; WEBB, C. O.; WRIGHT, I. J. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five Neotropical forests. **Ecology**, v. 89, n. 7, p. 1908-1920, julho. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/07-0207.1>. Acesso em 2019.

POTTER, T. L.; SIMMONS, K. E. Composition of petroleum mixtures. **Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series**. Massachusetts, 1998.

PPG I (Pteridophyte Phylogeny Group). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. **Journal of Systematics and Evolution**, v. 54, n. 6, p. 563–603, novembro. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jse.12229>. Acesso em 2019.

PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina, PR. 2001.

R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em 2019.

REITZ, R. **Tifáceas. Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1984.

RENK, M. Transporte e Armazenamento de Hidrocarbonetos em Áreas Costeiras: Um estudo sobre percepção de riscos em municípios do litoral norte paulista. 2016. 166 f. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade) – Setor de Estudos e Pesquisas Ambientais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

REZEK, J.; WIESCHE C.; MACKOVA, M.; ZADRAZIL, F.; MACEK, T. The effect of ryegrass (*Lolium perenne*) on decrease of PAH content in long term contaminated soil. **Chemosphere**, v. 70, n. 9, p. 1603–1608, fevereiro. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.003>. Acesso em 2019.

RIBEIRO, A. O. Anatomia foliar e do lenho de árvores de *Sebastiania commersoniana* (BAILLON) L.B.SM. & R.J. DOWNS (Euphorbiaceae) em solo

contaminado pelo derramamento de petróleo. 2015. 105 p. Tese (Doutorado em Botânica Aplicada), Universidade Federal de Lavras, Lavras 2015.

RIBEIRO, D. F.; LUPINACCI, C. M.; RIEDEL, P. S. Contribuição das características geomorfológicas na sensibilidade ambiental ao óleo em rios: estudo de caso do Rio Araquá (SP, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 45. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.91384>. Acesso em 2019.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 75-92, 2002.

RODRIGUES, T. T. Os efeitos do solo contaminado com petróleo na estrutura anatômica e estado nutricional do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* Berg (Myrtaceae) e *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae). 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ROESSING, M. **Produção, caracterização morfo-anatômica e ornamental e uso do *Juncus effusus* L. em paisagismo**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo (RS), 2007.

ROSSATTO, D.; KOLB, R. Leaf anatomical traits are correlated with tree dominance in a Neotropical deciduous forest. **New Zealand Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 242–251, 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.1080/0028825X.2013.795904>. Acesso em 2019.

ROSSI, J.B.; TUR, N. M. Autoecologia de *Scirpus californicus* – II – Desarrollo del Rizoma. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 17, n. 3-4, p. 280-288, 1976.

RUAUX, B.; GREULICH, S.; HAURY, J.; BERTON, J. P. Sexual reproduction of two alien invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on the middle Loire River, France. **Aquatic Botany**, v. 90, n. 2, p. 143-148, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.08.003>. Acesso em 2019.

RUSIN, M.; GOSPODAREK, J.; NADGÓRSKA-SOCHA, A. The Effect of Petroleum-Derived Substances on the Growth and Chemical Composition of *Vicia faba* L. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 24, n. 5, p. 2157-2166, 2015. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/41378>. Acesso em 2019.

SALAMUNI, E. Tectônica da bacia sedimentar de Curitiba (PR). Rio Claro. São Paulo. 1998. 211 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Setor de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

SANTAMARIA, L. Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. **Acta Oecologica**, v. 23, n. 1, p.137-154, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(02\)01146-3](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(02)01146-3). Acesso em 2019.

SCHLEUTER, D.; DAUFRESNE, M.; MASSOL, F.; ARGILLIER, C. (2010) A User's guide to functional diversity indices, **Ecological Monographs**, v. 80, n. 3, p. 469-484, agosto. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/08-2225.1>. Acesso em 2019.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, p. 671-657, junho. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>. Acesso em 2019.

SCHWARZBOLD, A. **Influência da morfologia no balanço de substâncias e na distribuição de macrófitos aquáticos nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul**. 1982. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 1982.

SEIXAS, S. R. C.; RENK, M. Projetos do setor de petróleo e gás no sudeste brasileiro: algumas considerações sobre o desafio desenvolvimento x preservação ambiental. In: SELENE, H. (Org.). Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé (RJ). Niterói: Universidade Federal Fluminense, cap. 4-3, p. 443- 456. 2011.

SILVA, A. M. D.; SILVA, L. M. D.; FERREIRA, L. M.; SILVA, L. C. D. Uma análise dos aspectos e impactos ambientais após a implantação da refinaria de petróleo ao longo do litoral de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho – PE, Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p.736-759, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019736-759>. Acesso em 2019.

SILVA, J. A. F. **Sistematização e Avaliação de Técnicas de Investigação Aplicadas à Caracterização e Diagnóstico de Área Contaminada por Hidrocarbonetos de Petróleo**. Dissertação (Mestrado em geociências e meio ambiente) Instituto de ciências exatas e geociências. Universidade estadual paulista 2002.

SILVEIRA, T. C. L. **Impacto do corte das macrófitas aquáticas Schoenoplectus californicus e Typha domingensis sobre a fauna de macroinvertebrados: subsídios para o extrativismo sustentável**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Setor de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2007.

SLOAN, N.A. **Oil impacts on cold-water Marine Resources: A review relevant to Parks Canada's evolving Marine Mandate**. Occasional Paper, 1999.

SOCHER, L.G.; RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ff.v38i2.11619>. Acesso em 2019.

SOUZA, M. C.; ROMAGNOLO, M. B.; KITA, K. K. Riparian vegetation: ecotones and plant communities. In: THOMAZ S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. **The upper Paraná River and floodplain: physical aspects, ecology and conservation**. Leiden, 2004. p. 353-367.

SPELLMEIER, J.; PÉRICO, E.; FREITAS, E. M. Composição florística de um banhado no município de Estrela / Rio Grande do Sul. **Pesquisas, Botânica**, n. 60, p. 367-381, 2009. doi: 10.13140/2.1.4320.3203.

SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **Am J Bot**, v. 94, n. 3, p. 451-459, março. 2007. Disponível em: doi: 10.3732/ajb.94.3.451. Acesso em 2019.

TURNER, I. M. **The Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest**, Cambridge, 2001.

VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. Effects of crude oil on respiratory aspects of some fish species of the Amazon. **INPA**, Manaus, p.277-291, 1999.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**, Berlin, 1982.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, 2008.

VEDRAMINI, F.; DÍAZ, S.; GURVICH, D. E.; WILSON, P. J.; THOMPSON, K.; HODGSON, J. G. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. **New Phytologist**, Cambridge, v. 154, n. 1, p. 147-157, abril. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00357.x>. Acesso em 2019.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **OIKOS**, v. 116, n. 5, p. 882- 892, maio. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>. Acesso em 2019.

WALKER, B. H. Conserving Biological Diversity through Ecosystem Resilience. **Conservation Biology**, n. 9, p. 747-752, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09040747.x>. Acesso em 2019.

WENZEL, W. W. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. **Plant and Soil**, v. 321, p. 385–408, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9686-1>. Acesso em 2019.

WESTBOY, M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. **Plant and Soil**, v. 199, p. 213-227, fevereiro. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1004327224729>. Acesso em 2019.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

WICKHAM, H.; HESTER, J.; CHANG, A. W. (2019). devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. R package version 2.3.0. <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>. Acesso em 2019.

WITTMANN, F.; ANHUF, D.; JUNK, W.J. Tree species distribution and community structure of central Amazonian várzea forests by remote-sensing techniques. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 6, p. 805-819, novembro. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002523>. Acesso em 2019.

WITTMANN, F.; JUNK, W. J. Sapling communities in Amazonian white-water forests. **Journal of Biogeography**, v. 30, n. 10, p. 1533-1544. outubro. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00966.x>. Acesso em 2019.

WYSZKOWSKI, M.; ZIÓŁKOWSKA, A. Effect of petrol and diesel oil on content of organic carbon and mineral components in soil. **American-Eurasian Journal of Sustainable**, v. 2, n. 2, p. 54-60, janeiro. 2008.

XU, J.G.; JOHNSON, R.L. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil-contaminated, remediate and uncontaminated soils planted to barley and field pea. **Plant and Soil**, v. 173, p. 3-10, junho. 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00155512>. Acesso em 2019.

ZOCHE, J. J.; FREITAS, M.; QUADROS, K. E. de. Concentração de Zn e Mn nos efluentes do beneficiamento de carvão mineral e em *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.1, p.177-188, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100019>. Acesso em 2019.